

Annexe du cours - Les principaux composants électroniques

Cette annexe du support de cours, apporte quelques précisions sur certaines parties du support de cours (les principaux composants électroniques) mais elles ne sont pas à connaître pour passer la licence de radioamateur. Cette annexe sera enrichie au fur et à mesure. Toute contribution ou remarque constructive sera la bienvenue.

Ce document n'a pas la prétention d'être exhaustif mais de présenter un aperçu de ce qui a été ou est fabriqué.

Rédacteur F4FPS (Gérard) pour le radio-club de la Haute - Ile F6KGL/F5KFF

Version 1.0 : chapitre 1 : La résistance et la résistivité.

Version 2.0 : chapitre 2 : La bobine – L'inductance – La self-induction + Version 1

Version 3.0 : chapitre 6 : Le transformateur – l'induction mutuelle + Version 2

Version 4.0 : chapitre 4 : La diode (semi-conducteur) + Version 3

Version 5.0 : chapitre 5 : Le quartz + Version 4

Autres chapitres : à venir

Version 6.0 : chapitre 3 : le condensateur – la capacité + version 5

Radio-Club de la Haute Île



F5KFF / F6KGL

Port de Plaisance

F-93330 Neuilly sur Marne

<http://f6kgl.f5kff.free.fr>

Table des matières

I	La résistance et la résistivité.....	I-1
I.1	La résistance - généralités	I-1
I.2	La résistance réelle	I-2
I.3	La résistivité	I-2
I.4	Le groupement de résistances	I-4
I.4.1	Le groupement de résistances en série	I-4
I.4.2	Le groupement de résistances en parallèle	I-4
I.5	Le diviseur de tension	I-5
I.6	Les différents types de résistances	I-5
I.6.1	La résistance agglomérée	I-5
I.6.2	La résistance à couche de carbone	I-5
I.6.3	Résistance à couche métallique.....	I-6
I.6.4	La résistance bobinée de puissance	I-6
I.7	La résistance montée en surface - CMS	I-8
I.8	La résistance ajustable – potentiomètre ajustable	I-9
I.9	Le réseau de résistances	I-10
I.9.1	Le réseau de résistances SIL ou DIL.....	I-10
I.9.2	Le réseau diviseur.....	I-11
I.10	La charge non rayonnante	I-11
I.11	Le shunt	I-12
I.12	Le strap - résistance 0Ω	I-12
I.13	La thermistance – CTN – CTP	I-12
I.14	La photo résistance –LDR - CDS.....	I-13
I.15	La Varistance –VDR (Voltage Dependent Resistor)	I-13
I.16	L'ohmmètre.....	I-13
I.17	Le code des couleurs	I-14
I.18	Le code de marquage normalisé.....	I-16
I.19	Les valeurs normalisées	I-16
II	La bobine - l'inductance – la self-induction	II-1
II.1	La bobine – l'inductance - la self-induction - généralités.....	II-1
II.2	L'effet de peau	II-4
II.3	La bobine réelle	II-4
II.4	Le groupement des bobines.....	II-5
II.4.1	Le groupement de bobines en série	II-5
II.4.2	Le groupement de bobines en parallèle.....	II-6
II.5	Les différents types de bobine.....	II-6
II.5.1	La bobine à air	II-6
II.5.2	Formule de calcul de l'inductance d'une bobine à air à spires jointives.....	II-7
II.5.3	La bobine en « nid d'abeille »	II-10
II.5.4	La bobine moulée et la bobine de choc	II-11
II.5.5	Le code des couleurs pour les bobines	II-12
II.5.6	Le code de marquage des inductances	II-13
II.5.7	La bobine CMS	II-13
II.5.8	La bobine imprimée	II-15
II.5.9	La bobine ajustable / variable.....	II-15
II.6	L'inductance mètre - le pont RLC.....	II-16
III	Le condensateur.....	III-17
III.1	Généralités.....	III-17

III.2	Groupement de condensateurs.....	III-17
III.3	Le condensateur fixe	III-17
III.4	Le code des couleurs	III-17
III.5	Le code de marquage.....	III-17
III.5.1	Le code de marquage des condensateurs.....	III-17
III.6	Le condensateur variable.....	III-18
III.7	Le capacimètre	III-18
IV	La diode (semi-conducteur)	IV-1
IV.1	La diode – Généralités.....	IV-1
IV.1.1	Les différents matériaux semi-conducteurs utilisés	IV-2
IV.1.2	Le circuit équivalent d'une diode.....	IV-2
IV.2	Le groupement de diodes	IV-3
IV.3	Le marquage de la diode	IV-7
IV.3.1	Le code des couleurs	IV-7
IV.3.2	Le marquage en clair	IV-7
IV.4	Les différents boîtiers.....	IV-10
IV.5	La diode de redressement	IV-15
IV.5.1	Diode de redressement secteur.....	IV-15
IV.5.2	Diode de redressement haute tension	IV-17
IV.5.3	Diode de redressement d'alimentation à découpage	IV-17
IV.5.4	Diode de redressement de signaux hautes fréquences.....	IV-17
IV.5.5	Diode de redressement Hyperfréquence	IV-17
IV.6	La diode de commutation	IV-17
IV.7	La diode électroluminescente DEL (LED).....	IV-18
IV.8	La diode GUN	IV-20
IV.9	La diode Laser.....	IV-20
IV.10	La photodiode.....	IV-20
IV.11	La diode Pin	IV-20
IV.12	La diode régulatrice de courant	IV-21
IV.13	La diode Schottky.....	IV-22
IV.14	La diode Tunnel	IV-23
IV.15	La diode Varicap	IV-25
IV.16	La diode Zener	IV-26
IV.17	Le pont de diodes	IV-29
IV.18	La mesure d'une diode – vérification.....	IV-30
V	Le quartz.....	V-1
V.1	Généralités.....	V-1
V.2	Schéma équivalent.....	V-4
V.2.1	Les résonances série et parallèle	V-5
V.2.2	Schémas de la variation de la réactance (impédance) d'un quartz.....	V-6
V.3	Dérive dans le temps, vieillissement	V-7
V.4	Les différents boîtiers.....	V-8
V.5	L'oscillateur à quartz.....	V-8
V.5.1	L'oscillateur à éléments discrets	V-8
V.5.2	L'oscillateur à quartz standard	V-9
V.5.3	Les oscillateurs à quartz haute stabilité.....	V-11
V.6	Le testeur de quartz	V-12
V.7	Le filtre à quartz	V-13
V.7.1	Le filtre à quartz de l'industrie.....	V-14
V.7.2	Le filtre à quartz à éléments discrets.....	V-16

VI	Le tore magnétique	VI-1
VII	Le transformateur	VII-1
VII.1	Le transformateur – l’induction mutuelle –généralités	VII-1
VII.2	Caractéristiques techniques d’un transformateur	VII-4
VII.3	Combinaison des enroulements.....	VII-5
VII.4	Les différents transformateurs.....	VII-6
VII.5	Le transformateur à alimentation secteur	VII-6
VII.5.1	Le transformateur sur carcasse et étrier.....	VII-6
VII.5.2	Calcul de la section du noyau et du nombre de spires par volt	VII-6
VII.5.3	Le transformateur moulé	VII-8
VII.5.4	Le transformateur torique	VII-10
VII.6	Le transformateur R	VII-11
VII.7	L’autotransformateur.....	VII-12
VII.8	Le transformateur de mesure du courant.....	VII-12
VII.9	Le transformateur pour alimentation à découpage.....	VII-13
VII.9.1	Exemples de transformateurs d’alimentation à découpage	VII-14
VII.9.2	Cas particulier : le transformateur de Très haute tension (THT)	VII-14
VII.1	Le transformateur basse fréquence.....	VII-14
VII.2	Le transformateur Haute fréquence.....	VII-15
VII.2.1	Le transformateur de fréquence intermédiaire	VII-15
VII.2.2	Le transformateur haute fréquence :.....	VII-16
VII.2.3	Le transformateur monté en surface.....	VII-18
VIII	Le transistor.....	VIII-19
IX	Glossaire.....	IX-1

I La résistance et la résistivité

I.1 La résistance - généralités

La résistance est la caractéristique d'un composant à s'opposer au passage du courant (flux d'électrons) et s'accompagne d'une dissipation d'énergie dans le composant par effet joule. Cette dissipation est à prendre en compte dans le choix du composant.

L'unité de la résistance est l'Ohm dont le symbole est la lettre Oméga (Ω).

Le composant dont la caractéristique principale est la résistance s'appelle résistance (en anglais « resistor » qui utilise 2 mots différents pour désigner le phénomène physique et le composant).

La résistance est un composant passif non polarisé (indépendant du sens du courant qui la traverse, ce qui n'est pas le cas des diodes et de certains condensateurs).

La gamme des résistances produites par l'industrie s'étend de quelques dizaines de milli ohms ($m\Omega = 1 * 10^{-3}\Omega$) à quelques dizaines de Mégohms ($M\Omega = 1 * 10^{+6}\Omega$) et ont des valeurs normalisées sauf commande spéciale (en grande quantité).

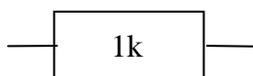
La valeur est indiquée à 25° avec une tolérance (précision de 10%, 5%, 2%, 1%, 0,5%, 0,1%) soit par un marquage direct soit par un code de couleurs et avec parfois un coefficient de température indiqué en parties par million par degré (ppm/°) (variation de la valeur de la résistance en fonction de la température).

Les caractéristiques d'une résistance spécifiées par le constructeur sont :

- La valeur de sa résistance nominale : indiquée en général sur la résistance,
- La tolérance (précision) : écart maximum de la valeur nominale par rapport à la valeur réelle de la résistance,
- La puissance nominale : puissance thermique maximale que peut dissiper la résistance,
- La tension maximale : supportée par la résistance, elle est fonction de la résistance et de la puissance maximale ($U = \sqrt{PxR}$) et de la rigidité du diélectrique (avant claquage), à prendre en considération lors que la tension d'alimentation est une haute tension (ex : 1000V dans un amplificateur à tubes),
- Le coefficient de température : variation relative de la valeur de la résistance en parties par million en fonction du changement de la température,
- La tension de bruit : due à l'agitation moléculaire, etc...

La représentation de la résistance dans un schéma peut prendre 2 formes :

- un rectangle avec la valeur à l'intérieur et sa référence à l'extérieur (norme Européenne)



R21

- une dent de scie (norme US et ancienne représentation)

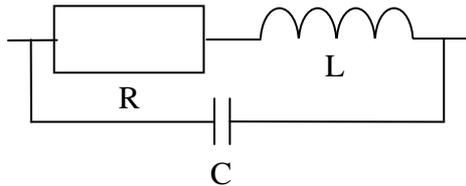


R21

I.2 La résistance réelle

La résistance (composant) dont le comportement n'est décrit que par la résistance (phénomène) n'existe pas (c'est une résistance idéale (théorique)). De part la technologie utilisée pour sa fabrication (fil de connexions, etc...) elle comporte des éléments « parasites » en série une bobine (inductance = fil de connexions, etc..) et en parallèle une capacité qui changent son comportement en haute et très haute fréquences.

Le schéma réel d'une résistance :



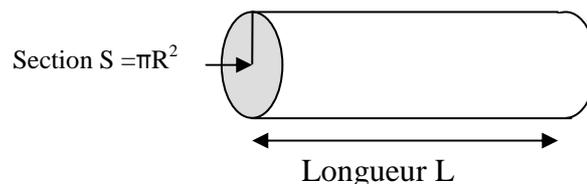
I.3 La résistivité

La résistivité d'un matériau est sa capacité à s'opposer au passage du courant électrique. Elle est faible pour les conducteurs, très grande pour les isolants et moyenne pour les semi-conducteurs (germanium, silicium). Elle varie plus ou moins en fonction de l'augmentation de la température :

- augmente pour les conducteurs,
- diminue pour les isolants,
- diminue fortement pour les semi-conducteurs,

La résistivité, dont le symbole est la lettre rho (ρ), s'exprime en ohms mètre (Ωm). Elle correspond à la résistance d'un matériau de 1 m de longueur et d'une section de 1 m^2 .

La formule donnant la résistance d'un fil de résistivité ρ , de longueur L et de section S est :



$$R = \rho L / S$$

R = résistance en Ohms, L = longueur du matériau en mètre, S = la section en m^2 .

Exemple : quelle est la résistance d'un fil de cuivre d'une longueur de 100 m et d'un diamètre de 2 mm ?

La résistivité du cuivre écroui est $\rho = 1,8 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (voir le tableau ci-après).

Calcul de la section en m^2 :

$$S = \pi R^2 = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \times (2 \times 10^{-3})^2}{4} = \frac{3,14 \times 4 \times 10^{-6}}{4} = 3,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Calcul de la valeur de la résistance du fil de cuivre en Ohms :

$$R = \frac{\rho L}{S} = \frac{1,8 \times 10^{-8} \times 100}{3,14 \times 10^{-6}} = \frac{1,8 \times 10^{-6}}{3,14 \times 10^{-6}} = \frac{1,8}{3,14} = 0,573 \text{ ohms (le cuivre est un bon conducteur !)}.$$

La résistivité varie en fonction de la température. Le tableau ci-après donne quelques valeurs du coefficient de température a. En première approximation la formule donnant la résistance R_t à la température t (R_0 est la valeur de la résistance à la température ambiante) est :

$$R_t = R_0 (1 + at)$$

La résistivité de quelques matériaux :

Matériau	Symbole chimique	ρ en $\Omega.m$	Coef. thermique α ($^{\circ}C$) ⁻¹
Aluminium	Al	$2,78 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Air sec		$1,12 \cdot 10^{+9}$	
Argent	Ag	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Bakélite		10^{+16}	
Bronze		$5 \cdot 10^{-8}$	
Cadmium	Cd	$7,6 \cdot 10^{-8}$	
Carbone	C	$3500 \cdot 10^{-8}$	$-0,5 \cdot 10^{-3}$
Constantan		$5 \cdot 10^{-7}$	
Cuivre	Cu	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Cuivre écroui	Cu	$1,8 \cdot 10^{-8}$	
Etain	Sn	$1,2 \cdot 10^{-8}$	
Fer	Fe	$1 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$
Germanium	Ge	0,46	$-48 \cdot 10^{-3}$
Laiton	60% Cu 40% Zn	$5 \cdot 10^{-8}$	
Magnésium		$4,6 \cdot 10^{-8}$	
Mercure		$96 \cdot 10^{-8}$	
Nickel	Ni	$7 \cdot 10^{-8}$	
Nichrome	NiCr	$150 \cdot 10^{-8}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$
Or	Au	$2,2 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Platine		$9,4 \cdot 10^{-8}$	$3,92 \cdot 10^{-3}$
Plexiglas		10^{+17}	
Polystyrène		10^{+20}	
Porcelaine		10^{+11}	
Silicium	Si	640	$-75 \cdot 10^{-3}$
Tungstène	W	$5,9 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Zinc	Zn	$6,1 \cdot 10^{-8}$	

I.4 Le groupement de résistances

Il peut être utile de recourir à un groupement de résistances pour disposer d'une valeur de résistance qui n'existe pas dans les valeurs normalisées produites par l'industrie ou pour des raisons de place ou de dissipation de la chaleur produite par la résistance.

Il existe 2 types de groupement : série et parallèle.

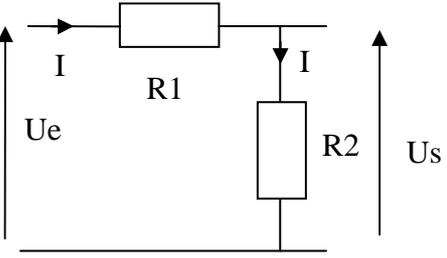
I.4.1 Le groupement de résistances en série

	<p>Formules</p> $U = R \times I$ $U = U_1 + U_2$ <p>I est le même dans les 2 schémas, donc</p> $R = R_1 + R_2$ <p>Dans un groupement en série, la résistance équivalente est la somme des résistances et donc plus grande que la plus grande des résistances du groupement.</p> <p>Exemple : $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 1000\Omega$</p> $\rightarrow R = 100 + 1000 = 1000\Omega$
--	--

I.4.2 Le groupement de résistances en parallèle

	<p>Formules</p> $U = R \times I$ $I = I_1 + I_2$ <p>U est le même dans les 2 schémas, donc</p> $R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$ <p>Dans un groupement en parallèle, la résistance équivalente est plus petite que la plus petite des résistances du groupement.</p> <p>Exemple : $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 1000\Omega$</p> $\rightarrow R = \frac{100 \times 1000}{100 + 1000} = \frac{100000}{1100} = 90,90\Omega$
--	---

I.5 Le diviseur de tension

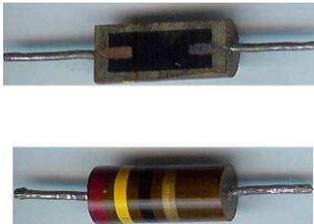
 <p>$U_e =$ tension d'entrée, $U_s =$ tension de sortie</p>	<p>Formules</p> $U = R \times I$ <p>I est le même dans les 2 résistances donc</p> $U_e = (R_1 + R_2) \times I \rightarrow I = U_e / (R_1 + R_2)$ $U_s = R_2 \times I = \frac{R_2 \times U_e}{R_1 + R_2}$ <p>Pour un diviseur par 10 soit $U_s = U_e / 10$ $\rightarrow R_1 = 9 \times R_2$</p> <p>Exemple : $R_2 = 1k\Omega$ alors $R_1 = 9k\Omega$.</p> <p>Pour un diviseur par 100 soit $U_s = U_e / 100$ $\rightarrow R_1 = 99 \times R_2$</p> <p>Exemple : $R_2 = 1k\Omega$ et $R_1 = 99k\Omega$.</p> <p>A condition que la charge branchée à la sortie soit négligeable par rapport à R_2.</p>
--	--

I.6 Les différents types de résistances

Il existe quatre grands types de résistances :

1. agglomérées (ancienne technologie),
2. à couche de carbone
3. à couche métalliques
4. bobinées

I.6.1 La résistance agglomérée



La résistance agglomérée est la plus ancienne. Elle est fabriquée à partir de poudre de carbone mélangée à un isolant et à un liant et entouré d'un enrobage. (voir la résistance coupée en 2).

Sa tolérance est de 20% (sans anneau de tolérance) ou de 10% (anneau argent).

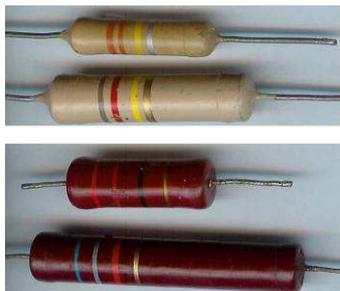
Elle est non inductive mais assez bruyante. Elle existe en différentes puissances

I.6.2 La résistance à couche de carbone



La résistance à couche de carbone est constituée d'une très fine couche de carbone déposée sur un barreau isolant en céramique et recouverte d'une couche de vernis. La valeur est ajustée en creusant la couche de carbone en forme hélicoïdale (voir ci-contre). Elle existe soit avec deux bagues de connexion fixées aux extrémités soit sans bagues de connexion, les connexions étant soudées directement aux extrémités (plus fiable mais plus fragile).

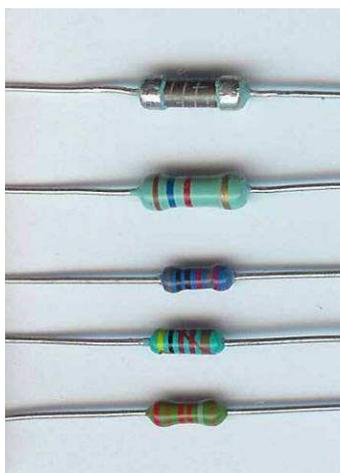
De par sa conception, elle possède en plus une certaine self-induction (bobine). Elle est moins bruyante et plus stable que la



résistance agglomérée. C'est la plus courante et la moins chère.
Autres résistances à couche de carbone de puissance

Dimensions :
 $1/4W = 2,5mm \times 7mm$,
 $1/2W = 8mm \times 10,3mm$,
 $1W = 5mm \times 10,5mm$
 $2W = 5mm \times 15mm$

1.6.3 Résistance à couche métallique



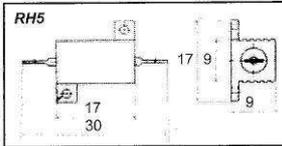
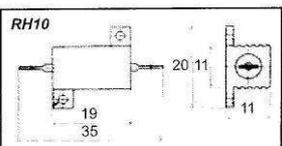
La résistance à couche métallique est constituée, en général, d'un film métallique déposé sous vide sur un barreau isolant en céramique. La valeur est ajustée en creusant la couche de métal en forme hélicoïdale (voir ci-contre). Elle existe soit avec deux bagues de connexion fixées aux extrémités (voir la 1^{ère} résistance) soit sans bagues de connexion, les connexions étant soudées directement aux extrémités (plus fiable mais plus fragile) (voir la 4^{ème} résistance).

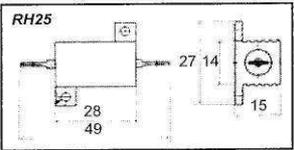
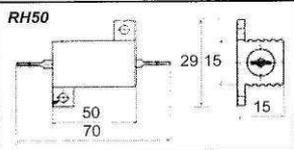
De par sa conception, elle possède en plus une certaine self-induction (bobine). Elle est moins bruyante que la résistance agglomérée et celle à couche de carbone. Elle est, en général, plus précise et a un coefficient de température moindre mais elle est plus chère.

1.6.4 La résistance bobinée de puissance

La résistance bobinée est une résistance de puissance, en général, constituée d'un support cylindrique en céramique (ou autre) sur lequel a été bobiné en spires non jointives un fil résistant. De part sa construction, ce type de résistance est dotée d'une caractéristique inductive importante ce qui ne la prédestine qu'à une utilisation aux basses fréquences.

Bobinées en boîtier dissipateur de type RH (Marque Dale, Vishay, Sfernice, ...)

Type	Dimensions	Caractéristiques	Remarques
RH5		Dissipation à 25° 10W sur radiateur 5W sans radiateur Tension limite 160V	Série E6
RH10 		Dissipation à 25° 10W sur radiateur 6W sans radiateur Tension limite 250V	Série E6
RH25		Dissipation à 25° 25W sur radiateur 9W sans radiateur Tension limite 550V	Série E6

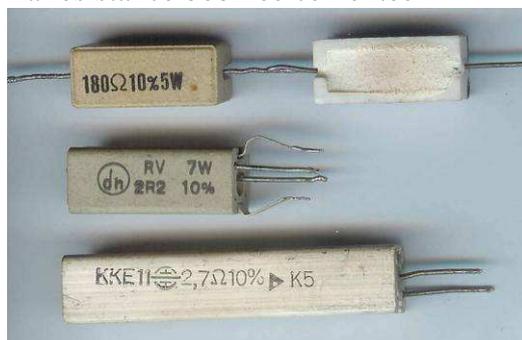
			
RH50		Dissipation à 25° 50W sur radiateur 10W sans radiateur Tension limite 1250V	Série E6

Bobinées vitrifiées de type RB (Fabricants : Vishay, Sfernice, Welwyn,....)

Le fil métallique en Nickel-Chrome (en général) est bobiné sur un support cylindrique en céramique, le tout est recouvert d'une couche de verre (= vitrifiée).

Type	Dimensions	Caractéristiques	Remarques
 RB57	Ø9,5 mm x 28 mm max Ø5 mm x 26mm nominal	Puissance 6,5W à 25° 6,6W à 70° P. Max 10W Tension de service 200V Tolérance 5%	Série E12
RB58	Ø9,5 mm x 46 mm max	Puissance 11W à 25° P. Max 16W Tension de service 400V Tolérance 5%	Série E12
 RB59	Ø6 mm x 14 mm max	Puissance 3W à 25° 2,6W à 70° P. Max 5,5W Tension de service 100V Tolérance 5%	Série E12
RB60	Ø7,5 mm x 34 mm max	Puissance 8W à 25° P. Max 6W Tension de service 250V Tolérance 5%	Série E12
 RB61	Ø5,5 mm x 22 mm max	Puissance 5W à 25° P. Max 16W Tension de service 160V Tolérance 5%	Série E12

La résistance bobinée cémentée



Puissance 5W, 7W, 11W Série E12

← Cémentée

La résistance bobinée de puissance



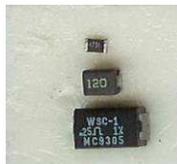
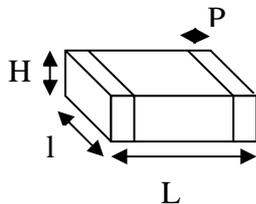
Résistance bobinée de puissance ajustable avec une bague de réglage (point de contact en dessous) pour l'obtention d'une valeur intermédiaire
Ici une résistance de 10Ω

I.7 La résistance montée en surface - CMS

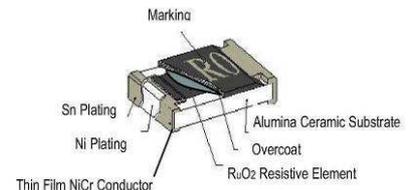
La résistance montée en surface fait partie des composants montés en surface (CMS). Ce sont des composants miniatures, sans fils de connexion, et directement soudés sur le circuit imprimé. Ces résistances permettent une intégration importante (gain de place) et sont recommandées dans le domaine des (très) hautes fréquences du fait d'une inductance parasite très faible (dimensions réduites sans fils de connexion). Par contre, elles sont difficiles à manipuler et à souder pour un amateur ne disposant pas d'un matériel industriel adéquat. La valeur de la résistance est indiquée suivant le code de marquage sauf pour les plus petites qui n'ont plus de marquage.



Modèle ancien, valeur indiquée par le code des couleurs



← Marquée 4751 = $4,750\text{ k}\Omega$
← Marquée 120 = 12Ω
← Marquée en clair = $0,25\ \Omega$



Extrait de la documentation Viking

Boîtier Code	Puissance	L mm	l mm	H mm	P mm	Tension
0201	1/20 W	0,6	0,3	0,12		15 V
0402	1/16 W	1,0	0,5	0,35		25 V
0603	1/10 W	1,6	0,8	0,5 à 1,2	0,25 à 0,65	75 V
0805	1/8 W	2	1,25	0,5 à 1,4	0,25 à 0,75	100 V
1206	1/4 W	3,2	1,6	0,55 à 1,6	0,25 à 0,85	150 V
1210	1/3 W	3,2	2,5	0,56		200 V
2010	1/2 W	5,0	2,5	0,56		
2512	1 W	6,3	3,2	0,56		

I.8 La résistance ajustable – potentiomètre ajustable

La résistance ajustable ou le potentiomètre ajustable (Trimmer en Anglais) est un composant dont on peut faire varier la valeur de sa résistance en déplaçant un contact mobile (Wiper en Anglais) sur une piste résistante en carbone ou en métal grâce à un dispositif (vis de réglage) accessible de l'extérieur. Elle permet en phase finale de régler l'appareil fabriqué pour compenser la tolérance des composants utilisés (précision des composants).

La résistance ajustable possède 2 connexions extérieures (voir 1^{ère} photo), elle a été très peu fabriquée.

Le potentiomètre ajustable possède 3 connexions externes. Il peut être considéré comme un diviseur de tension (voir le chapitre). En réunissant le curseur à une des 2 autres connexions externes on réalise une résistance ajustable.

Le potentiomètre ajustable existe sous diverses formes :

2 grands types de pistes : piste de carbone sur un support en résine (modèle économique) et à piste cermet (substrat céramique) plus stable,

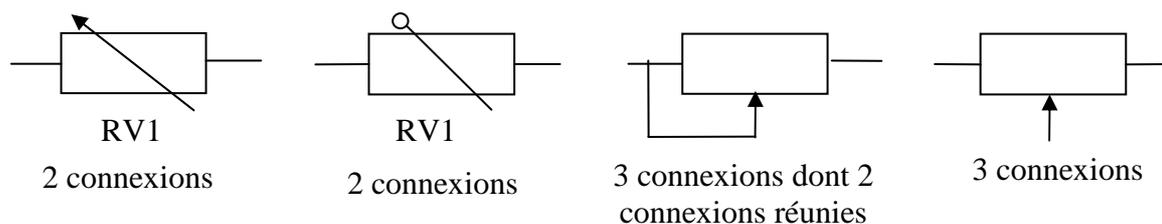
Sans capot ou capoté (plus fiable et stable, à l'abri de l'humidité et éléments externes),

Mono tour ou multi tours (10, 12, 15, 18, 20 ou 25 tours) pour des réglages précis,

Format classique ou format CMS,

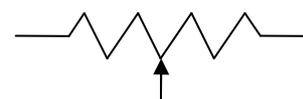
Variation / courbe de la piste : à variation linéaire ou logarithmique.

Symboles de la résistance et du potentiomètre ajustable (norme Européenne):



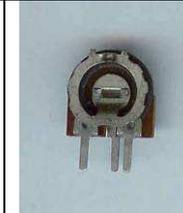
Représentation d'une résistance ajustable

d'un potentiomètre



Représentation d'une résistance et d'un potentiomètre ajustable (norme US) Wiper

Différents types de résistances et potentiomètres ajustables :

				
Résistance variable à piste de carbone 2 connexions	Potentiomètre à piste de carbone implantation verticale	Potentiomètre à piste de carbone implantation verticale 0,1W	Potentiomètre cermet à piste de carbone implantation verticale	Potentiomètre cermet à piste de carbone implantation horizontale et verticale

				
Potentiomètre capoté à piste de carbone implantation	Potentiomètre capoté à piste de carbone implantation horizontale et verticale	Potentiomètre capoté cermet type TX implantation verticale		

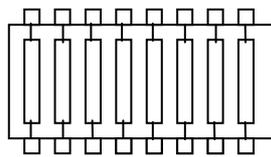
Potentiomètre ajustable 10 tours

	<ul style="list-style-type: none"> ← Vis sans fin ← Contact mobile déplacé sur la vis ← Piste sur substrat céramique 	
Potentiomètre ajustable cermet 10 tours type T93YB 0,5W		Potentiomètre ajustable cermet 25 tours type T93YB 0,5W

I.9 Le réseau de résistances

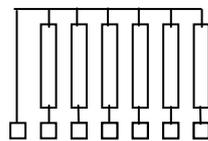
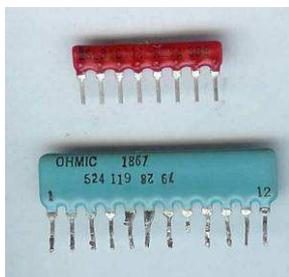
I.9.1 Le réseau de résistances SIL ou DIL

Réseau de résistances de 1/8W indépendantes ou ayant un point commun au format DIL (Dual In Line = 2 rangées de connexions en ligne) ou SIL (Single in line = une rangée de connexions en ligne) ou réseau de résistances fabriqué à la demande.



DIL16

Résistance indépendantes ou un ayant un point commun



SIL 8 ou 12

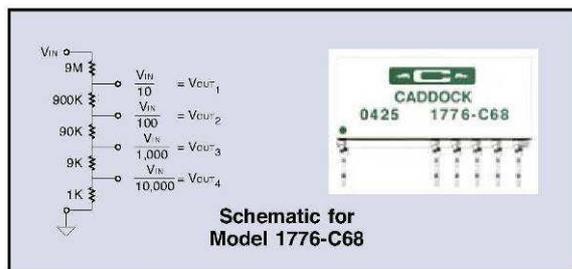
Réseau spécifique de résistances

1.9.2 Le réseau diviseur

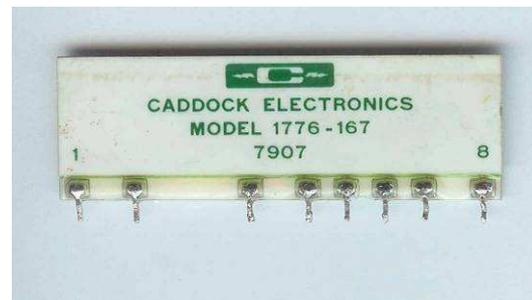
Le diviseur de tension est utilisé en général dans les appareils de mesure pour diviser (atténuer) la tension à mesurer et la rendre compatible avec la capacité de mesure de la partie mesure de l'appareil. Par exemple, dans les multimètres 2000 points (classique) la capacité de la partie mesure est de 200 mV pour un affichage de 2000 points (3 ¼ digits) avec une résistance d'entrée normalisée à 10MΩ, ainsi pour mesurer une tension de 20V, il faut diviser (atténuer) la tension à mesurer par un facteur de 100 (voir le chapitre diviseur de tension).

Dans un multimètre numérique de grande précision et de faible coefficient de température l'atténuateur d'entrée est un réseau de résistances de précision montées sur un substrat céramique (dépôt d'une couche métallique). La précision absolue est inférieure à 0,25% et la relative à 0,1% pour un multimètre classique de 2000 points et elle est bien supérieure pour des multimètres 4 000 points, 20 000 points, 200 000 points, etc..

Exemple d'un diviseur de tension d'un multimètre numérique :



Extrait de la documentation Caddock Electronics Inc.



1.10 La charge non rayonnante

La charge non rayonnante est une résistance de puissance non inductive qui sert de charge lors du réglage de la partie émission d'une station émettrice (à la place de l'antenne) pour ne pas perturber les communications radio environnantes.

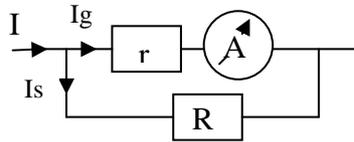
Elle fait partie des équipements obligatoires d'une station émettrice Radioamateur (voir la réglementation). Elle se présente sous la forme d'une résistance (ou plusieurs) montée(s) sur un radiateur ou baignant dans un bain d'huile contenu dans un bidon (cas des charges de forte puissance (1kW et plus)).



Exemple : une charge de 50W sur radiateur

I.11 Le shunt

Le shunt est une résistance de faible valeur placée en général en dérivation pour drainer la majorité du courant. Elle est utilisée dans le cas de l'ampèremètre pour mesurer l'intensité d'un courant plus important que celui supporté par la partie mesure de l'appareil (par exemple un galvanomètre).



Shunt

r = résistance interne du galvanomètre
 R = résistance du shunt

Schéma d'un ampèremètre

Formules :

I = intensité du courant à mesurer

$$I = I_g + I_s \rightarrow I_s = I - I_g$$

La tension est la même aux bornes du shunt et de l'ampèremètre d'où

$$U = I_g \times r = I_s \times R$$

$$R = \frac{I_g \times r}{I_s} = \frac{I_g \times r}{I - I_g}$$

Exemple :

Courant maxi du galvanomètre

$$I_g = 1 \text{ ma} = 10^{-3} \text{ A}$$

Résistance interne du galvanomètre

$$r = 1000 \Omega$$

Pour mesurer $I = 10 \text{ A}$

$$R = \frac{10^{-3} \times 1000}{10 - 10^{-3}} = \frac{1}{9,999} = 0,1 \Omega$$

Exemple d'un shunt de très faible résistance extrait d'un ampèremètre Metrix et ajusté en usine par une fente :



I.12 Le strap - résistance 0Ω

Le Strap a une valeur de résistance de 0Ω, il est utilisé dans la conception de circuits imprimés pour simplifier le dessin du circuit en évitant le chevauchement des pistes.



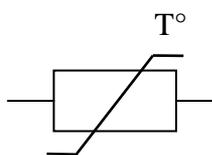
Exemple :

I.13 La thermistance – CTN – CTP

La thermistance est une résistance particulière dont la valeur de la résistance varie en fonction de la température. Elle est classée en deux catégories : les coefficients de température négatifs (CTN (NTC en Anglais) dont la valeur diminue quand la température augmente) et les coefficients de température positifs (CTP (PTC en Anglais) dont la valeur augmente quand la température augmente).

Elle peut être utilisée pour mesurer la température à l'intérieur d'un appareil ou d'un radiateur d'amplificateur et déclencher une ventilation forcée (ventilateur) à partir d'un certain seuil de température. Pour des mesures précises de température on utilise d'autres composants (en particulier des composants actifs à semi-conducteurs).

Symbole :

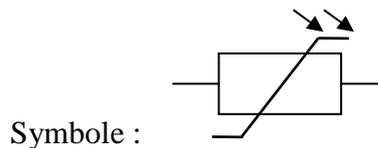


Exemples :



I.14 La photo résistance –LDR - CDS

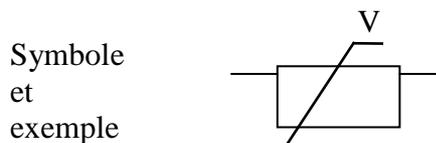
La photo résistance est une résistance particulière, parfois à base de sulfure de cadmium (Cds), dont la valeur de la résistance varie en fonction de l'intensité lumineuse reçue. La valeur de la résistance diminue quand la luminosité augmente et peut varier de quelques Mégohms dans l'obscurité à quelques centaines d'ohms en pleine luminosité. Le temps de réponse est moyen. Actuellement, elle est remplacée par des éléments plus rapides et disponibles telle la photo diode ou le phototransistor.



Anciennes photo résistances

I.15 La Varistance –VDR (Voltage Dependent Resistor)

La varistance (Varistor en Anglais) est une résistance particulière, à base d'oxyde métallique, dont la valeur de la résistance varie en fonction de la tension appliquée à ses bornes. La valeur de la résistance diminue quand la tension augmente à partir d'une tension de seuil et protège ainsi le montage d'une surtension. Elle est capable d'absorber des courants très importants (100A à 1000A) pendant une courte durée (8 à 20 μ S).



Exemple :
S7 = diamètre brut du disque
K = tolérance de la tension
275 = tension alternative maximale d'utilisation, protection à 710V

I.16 L'ohmmètre

L'ohmmètre est un appareil qui mesure la résistance d'un composant. Il peut être analogique avec un galvanomètre à aiguille ou numérique avec un afficheur à LED ou LCD et faire partie d'un contrôleur universel, d'un pont de mesure RLC ou dédié à ce type de mesure.

La mesure est basée sur la loi d'Ohm $U=R \cdot I$ d'où $R=U/I$.

Dans un ohmmètre numérique simple, un courant constant et connu avec précision est injecté dans le composant en test et la tension engendrée aux bornes du composant est mesurée par le circuit interne de l'ohmmètre. La valeur du courant est fonction du calibre de l'ohmmètre, par exemple : pour mesurer une résistance inconnue sur le calibre 1k Ω , l'ohmmètre génère un courant constant de 1mA (1 milli Ampère = 1×10^{-3} A), ce qui produit une tension de 1V par 1k Ω et un affichage de 1,000. Une résistance de 1,8k Ω , parcourue par ce courant, produit une tension de 1,8V qui s'affiche 1,800 et ainsi de suite. Sur un autre calibre, l'ohmmètre génère un courant différent adapté au calibre, par exemple pour le calibre 100 Ω le courant pourra être de 10mA, ce qui génère une tension de 1V pour 100 Ω et un affichage de 100,0 (on a déplacé le point de séparation pour être cohérent avec le calibre). Pour les calibres extrêmes 0,1 Ω et 1 M Ω , un soin particulier est apporté au courant injecté qui ne doit pas être trop fort ou trop faible (risque d'échauffement de la résistance, vidage de la pile d'alimentation de l'appareil, ..) et à la longueur des câbles de mesure (résistance des câbles de mesure à soustraire de la valeur

affichée sur le calibre $0,1\Omega$ ou servant d'antenne (rayonnement 50hz ou autres) sur le calibre $1M\Omega$.

Dans un appareil analogique simple (1 galvanomètre et des résistances), l'ohmmètre mesure le courant injecté dans le composant en test. L'utilisateur choisit son calibre puis calibre l'ohmmètre en court-circuitant les 2 câbles de mesure et en amenant l'aiguille du galvanomètre sur le 0 (à l'extrême droite de l'échelle des résistances) par le potentiomètre de réglage prévu à cet effet sur l'ohmmètre. A noter que l'échelle graduée n'est pas linéaire sur ce type d'appareil.

Conseils pratiques pour la mesure de la valeur de la résistance :

- Pour une forte valeur, ne pas mettre les doigts sur les contacts de la résistance et/ou des cordons de mesure car cela rajoute en parallèle, sur le composant en test, la résistance de votre corps (# $100k\Omega$) et cela fausse la mesure,
- Pour une faible valeur, prendre des cordons de mesure aussi courts que possible et tenir compte de la résistance de ceux-ci en la retranchant de la valeur affichée. Pour ceux qui possèdent un (milli) ohmmètre faire une « mesure 4 fils ».

I.17 Le code des couleurs

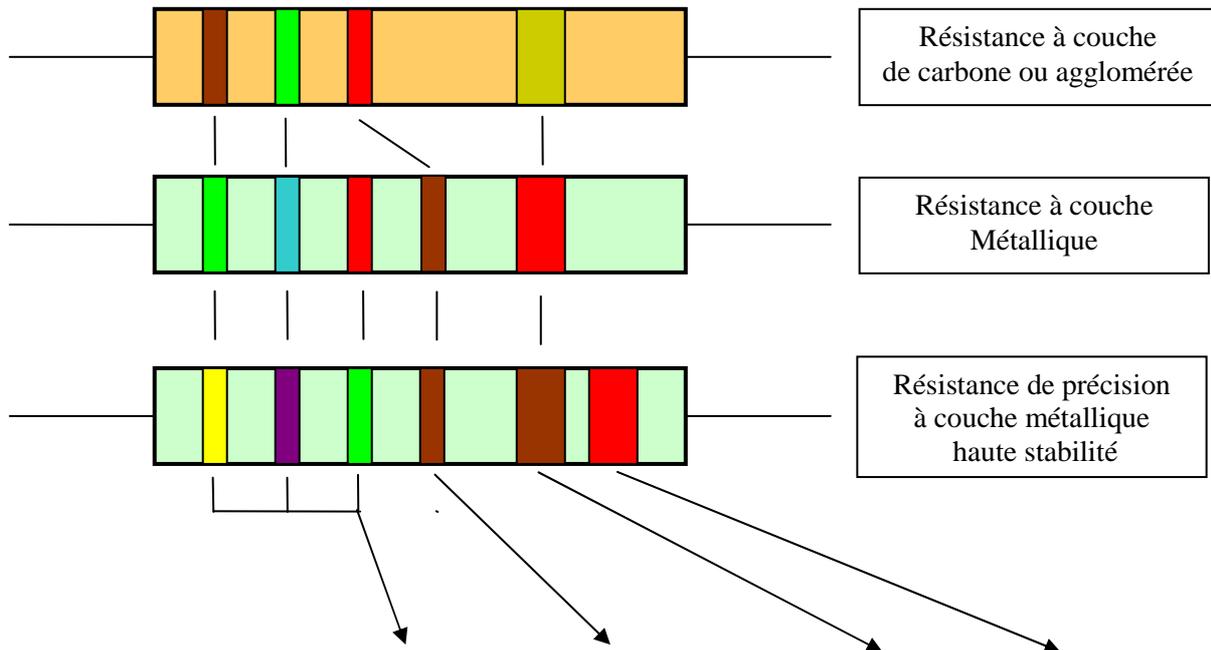
La valeur d'un composant n'est pas toujours indiquée en clair. L'industrie a utilisé le code des couleurs pour identifier la valeur de la plupart des résistances, de certains condensateurs, inductances, thermistances et la référence de quelques diodes et le gain de certains transistors.

Pour déterminer la valeur d'une résistance :

1. compter le nombre d'anneaux de couleurs,
 - 3 anneaux : 2 anneaux de chiffres significatifs, 1 anneau multiplicateur, pas d'anneau de tolérance = $\pm 20\%$
 - 4 anneaux (dont 1 anneau plus large) : 2 anneaux de chiffres significatifs, 1 anneau multiplicateur, 1 anneau de tolérance
 - 5 anneaux (dont 1 anneau plus large) : 3 anneaux de chiffres significatifs, 1 anneau multiplicateur, 1 anneau de tolérance
 - 6 anneaux (dont 2 anneaux plus larges) : 3 anneaux de chiffres significatifs, 1 anneau multiplicateur, 1 anneau de tolérance, 1 anneau de coefficient de température
2. Le 1^{er} anneau est celui le plus proche du bord. Les 2 ou 3 premiers anneaux sont les chiffres significatifs. L'anneau suivant est le multiplicateur, puis l'anneau le plus large indique la tolérance (marron, 1% pour la série E96). Parfois un 2^{ème} anneau plus large donne le coefficient de stabilité en température (cas des résistances de précision).

Conseils pratiques : lors de la réalisation d'un montage, il est préférable de vérifier, à l'ohmmètre, la valeur de la résistance avant de la souder. En effet, en fonction de la couleur du corps de la résistance, certaines couleurs peuvent être facilement confondues : jaune et orange ou rouge et marron. D'autre part, il est possible de confondre une résistance avec une inductance ou un condensateur ayant la même forme et repérée par un code de couleurs (en général l'inductance est plus renflée sur les bords ou au milieu).

Tableau du code des couleurs



Mnémotechnique Initiale du mot = Initiale Couleur	Chiffres significatifs	Multiplicateur	Tolérance	Coeff. de température
Ne	Noir : 0	x 1 Ω		± 200
Mangez	Marron : 1	x 10 Ω	± 1 %	± 100
Rien	Rouge : 2	x 100 Ω	± 2 %	± 50
Ou	Orange : 3	1 kΩ		± 15
Je	Jaune : 4	10 kΩ		± 15
Vous	Vert : 5	100 kΩ	± 0,5 %	
Battrai	Bleu : 6	1 MΩ	± 0,25 %	
VIOlement	Violet : 7	10 MΩ	± 0,1 %	
Grand	Gris : 8			
BOA ←	Blanc : 9			
		Argent : x 0,01Ω	± 10 %	
		Or : x 0,1Ω	± 5 %	

Exemples :

- la première résistance (4 anneaux → 2 chiffres significatifs (marron = 1, vert = 5 → 15), 1 multiplicateur (rouge = 2 → x 100), 1 tolérance (or = 5%) soit **1500 = 1.5kΩ** valeur donnée à ±5%
- la deuxième résistance (5 anneaux → 3 chiffres significatifs (vert = 5, bleu = 6, rouge = 2 → 562), 1 multiplicateur (marron = 1 → x 10), 1 tolérance (rouge = 2%) soit **5620 = 5,62kΩ** valeur donnée à ±2%
- la troisième résistance (6 anneaux → 3 chiffres significatifs (jaune = 4, violet = 7, vert = 5 → 475), 1 multiplicateur (marron = 1 → x 10), 1 tolérance (marron = 1%) soit **4750 = 4.75kΩ** valeur donnée à ±1%, 1 coefficient de température = ±50ppm par °

I.18 Le code de marquage normalisé

L'industrie utilise un code de marquage normalisé sous deux formats :

Code A :

2 chiffres significatifs et un multiplicateur (analogue au code des couleurs).

Par exemple :

472 → 2 chiffres significatifs = 47 = et 1 multiplicateur = 2 → 100 = 10^2 soit une valeur de 4700 = 4.7kΩ.

471 = 470 Ω,

Code B :

La lettre R indique la position de la partie fraction, la lettre k le kilo (10^3), la lettre M le Mega (10^6).

Valeur de résistance	Code A	Code B IEC code
0,10		R10
0,22		R22
1,0	109	1R0
1,22		1R22
10,2		10R2
100	101	100R
1k	102	1K0
4,7k	472	4K7
10k	103	10K
100k	104	100K
1,0M	105	1M0
10M	106	10M0

I.19 Les valeurs normalisées

L'industrie fabrique des valeurs normalisées de résistances, condensateurs, inductances, etc..

Il existe plusieurs Séries de valeurs : pour les résistances E3, E6, E12, E24, E48, E96 et E192.

Le chiffre suivant la lettre indique le nombre de valeurs disponibles par décade par exemple pour la série E12 il existe 12 valeurs par décade (voir le tableau ci-dessous) (rappel une décade : 1 à 10, 10 à 100, 100 à 1000, etc..). L'espacement des valeurs a été choisi de telle manière que les valeurs soient espacées régulièrement sur une échelle logarithmique.

Série E3	Série E6	Série E12	Série E24	Série E48	Série E96
20%	10%	10%	5%	2%	1%
100	100	100	100	100	100
				102	102
				105	105
				107	107
			110	110	110
				113	113
				115	115
				118	118
		120	120	121	121
				124	124
				127	127
				130	130
			130	133	133
				137	137
				140	140
				143	143
				147	147
	150	150	150	150	150
				154	154
				158	158
			160	162	162
				165	165
				169	169
				174	174
				178	178
		180	180	182	182
				187	187
				191	191
				196	196
			200	200	200
				205	205
				210	210
				215	215
220	220	220	220	221	221
				226	226
				232	232
				237	237
			240	243	243
				249	249
				255	255
				261	261
		270	270	267	267
				274	274
				280	280
				287	287
				294	294
			300	301	301
				309	309
				316	316
				324	324

Série E3	Série E6	Série E12	Série E24	Série E48	Série E96
20%	10%	10%	5%	2%	1%
	330	330	330	332	332
				348	348
			360	365	365
				374	374
				383	383
		390	390	392	392
				402	402
				412	412
			430	422	422
				432	432
				442	442
				453	453
				464	464
470	470	470	470	475	475
				487	487
				499	499
			510	511	511
				523	523
				536	536
				549	549
		560	560	562	562
				576	576
				490	590
				604	604
			620	619	619
				634	634
				649	649
				665	665
	680	680	680	681	681
				698	698
				715	715
				732	732
			750	750	750
				768	768
				787	787
		820	820	806	806
				825	825
				845	845
				866	866
				887	887
			910	909	909
				931	931
				953	953
				976	976

La série E192 a une tolérance de 0,5%.

II La bobine - l'inductance – la self-induction

II.1 La bobine – l'inductance - la self-induction - généralités

Rappel du cours :

La bobine est un composant passif non polarisé (indépendant du sens du courant qui la traverse, ce qui n'est pas le cas des diodes et de certains condensateurs).

Une bobine est constituée d'un enroulement d'un fil conducteur (ou de plusieurs) à spires jointives ou non, en une ou plusieurs couches sur un support ou non. Comme indiqué dans le cours, il faut éviter d'utiliser le terme « self » pour désigner un enroulement électrique. En effet, c'est un anglicisme mal utilisé : il y a confusion entre le phénomène physique (self-induction) et l'élément matériel qui le produit (bobine).

La bobine fonctionne grâce à ses propriétés électromagnétiques. En effet, le courant qui parcourt la bobine génère un champ électromagnétique autour et à l'intérieur des spires. Ce champ constitue la réserve d'énergie de la bobine (loi de Laplace)

L'inductance d'un composant est sa caractéristique à produire un champ magnétique à travers la section entourée par ce composant lorsqu'il est traversé par un courant.

L'unité de l'inductance est le Henry dont le symbole est la lettre H. Le Henry est l'inductance d'une bobine constituée d'une seule spire, parcourue par un courant de 1 ampère et générant un flux Φ de 1 weber qui, lui-même, peut libérer une énergie égale à 1 joule.

La quantité d'énergie emmagasinée dans une bobine est donnée par la formule $E = \frac{1}{2} L * I^2$

Dans une bobine idéale il n'y a pas de dissipation d'énergie comme dans le cas de la résistance par effet joule (chaleur). Elle emmagasine de l'énergie électromagnétique et la restitue un laps de temps plus tard.

La gamme des inductances produites par l'industrie s'étend de quelques dizaines de nano henrys ($nH = 1 * 10^{-9}H$) à quelques henrys et ont des valeurs normalisées sauf commande spéciale (en grande quantité).

L'**inductance** d'une bobine dépend de la forme de la bobine, de sa section (donc du carré de son diamètre) et du carré du nombre de ses spires.

Si la capacité des condensateurs est assez facile à déterminer grâce à ses dimensions, il n'existe aucune formule fiable pour le calcul de l'inductance des bobines : chacune a ses limites, toutes utilisent un coefficient issu du rapport diamètre/longueur de la bobine. La formule citée dans le tableau comparatif ne fonctionne qu'avec une bobine sans noyau comportant une seule couche de spires jointives et dont le rapport diamètre/longueur est compris entre 0,5 et 1. Pour un rapport différent ou des spires non jointives, le résultat sera une approximation quelquefois suffisante.

L'inductance d'un fil rectiligne en cuivre est d'environ 1 μH par mètre.

Les grandeurs électromagnétiques sont :

- H (à ne pas confondre avec le H de l'unité des bobines, le Henry) est l'excitation magnétique d'une bobine mesurée en ampère-mètres (A.m) pour les fils rectilignes et en ampère-tours (A.t) pour les bobines,

- B est l'induction magnétique du champ mesurée en Tesla (1 Tesla = 10.000 Gauss). B est la valeur de l'excitation H agissant sur une surface plane et perpendiculaire à ses lignes de force.

- μ (lettre grecque mu minuscule) est la perméabilité, c'est à dire l'aptitude d'un matériau (ou d'un milieu) à guider les champs magnétiques. μ est mesuré en H/m (Henry par mètre) et est donné par le rapport B / H .

- F (lettre grecque phi majuscule) est le flux d'induction magnétique mesuré en weber (Wb). F est la force électromagnétique créant aux bornes de la bobine une force électromotrice de 1 volt pendant 1 seconde.

Par définition, le Henry (H) est l'inductance d'une bobine constituée d'une seule spire, parcourue par un courant de 1 ampère et générant un flux F de 1 weber qui, lui-même, peut libérer une énergie égale à 1 joule.

L'inductance de la bobine augmente en introduisant un noyau magnétique à l'intérieur des spires, ce qui augmente artificiellement la section de la bobine. Le noyau est constitué de différents matériaux (feuille de tôle, ferrite, poudre ferromagnétique) ayant chacun leur perméabilité relative notée μ_r et calculée par rapport à la perméabilité du vide, μ_0 , égale à $4\pi \cdot 10^{-7} \text{H/m}$. L'air sec a la même perméabilité que le vide. Les matériaux magnétiques sont le fer, le nickel, le cobalt et leurs alliages. Les ferrites sont des mélanges à base d'oxydes de fer. Leur μ_r varie de 20 à 3000 selon le matériau employé et leur forme. Elles sont utilisables sur une plage de fréquence donnée par le fabricant. Les conducteurs dont le μ_r est proche de 1 sont appelés paramagnétiques (aluminium, manganèse) s'ils s'aimantent dans le sens du champ magnétisant ou diamagnétiques (cuivre, zinc) s'ils s'aimantent en sens inverse.

$$L(\text{H}) = N \cdot F(\text{Wb}) / I(\text{A})$$

N = nombre de spires ; I = intensité parcourue

F = flux généré par la bobine (en Weber)

$$E(\text{J}) = \frac{1}{2} L(\text{H}) \cdot I^2(\text{A})$$

La représentation de la bobine dans un schéma peut prendre 2 formes :



Bobine



Bobine à noyau
de ferrite



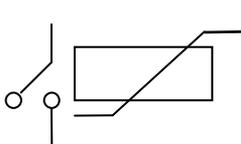
Bobine à noyau
de fer doux

La représentation de la bobine ajustable dans un schéma :

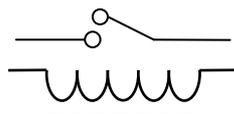


Bobine à noyau ajustable

La représentation de la bobine d'un électroaimant (relais) :



(Bobine) relais



La réactance d'une bobine dépend de la fréquence du courant qui la traverse et de son inductance :

Réactance de la bobine = $Z = 2 \pi L f = L \omega$ avec f = fréquence et ω pulsation du courant.

La tension aux bornes de la bobine :

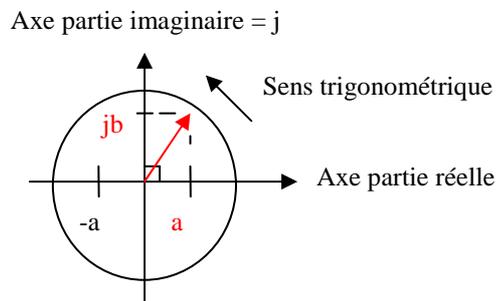
$U = j L \omega I$ (le symbole j représente la partie imaginaire d'un nombre complexe et ici signifie que la tension est déphasée (décalée) de $+90^\circ$ (en avance) par rapport à l'intensité) (voir ci-dessous le petit rappel sur les nombres complexes).

Si on ajoute en série avec la bobine une résistance, on a alors :

$U = R I + j L \omega I = (R + j L \omega) I = Z I$ (avec $Z = R + j L \omega$)

Petit rappel sur les nombres complexes et leurs représentations trigonométriques, soit un nombre complexe $X = a + jb$ (a est la partie réelle et b est la partie imaginaire du nombre complexe).

Le cercle trigonométrique ci-dessous montre que la partie imaginaire jb est déphasée de $+90^\circ$ (en avance) par rapport à a (la partie réelle).



Cercle trigonométrique

Remarque : $j * j = -1$ (en effet 2 déphasages (décalages) de $+90^\circ = 180^\circ$ et on se retrouve sur l'axe de la partie réelle mais du côté négatif)

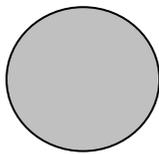
II.2 L'effet de peau

Rappels du cours :

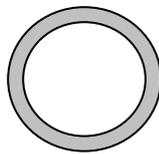
L'effet de peau, important en hautes fréquences, fait que le courant ne se déplace qu'à la surface des conducteurs. L'épaisseur de la peau d'un fil de cuivre (en μm , microns) dans laquelle passera le courant est estimée par la formule suivante : $e = 66 \sqrt{f}$ (F en Mhz).

Fréquence	Epaisseur de la peau
20 khz	0,5 mm
1 Mhz	66 μm
30 Mhz	12 μm
150 Mhz	5 μm
1 Ghz	2 μm

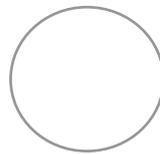
Répartition du courant (en gris) dans un fil de 2 mm de diamètre à une fréquence de



Continu



20 Khz



> 1 Mhz

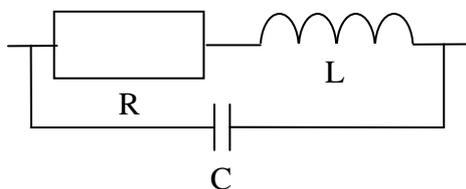
Remarque importante : la valeur de la résistance d'un fil en haute fréquence n'a rien à voir avec celle relevée en continu avec un ohmmètre, elle est beaucoup plus grande.

Pour diminuer l'effet de peau, on recouvre le fil d'un métal très conducteur (ex = argent) et traité contre l'oxydation qui est en général un isolant.

II.3 La bobine réelle

La bobine (composant) dont le comportement n'est décrit que par l'inductance (phénomène de self-induction) n'existe pas (c'est une inductance idéale (théorique)). De part la technologie utilisée pour sa fabrication (fil, spires, etc...) elle comporte des éléments « parasites » en série une résistance (celle du fil la constituant mais aussi celle due à l'effet de peau qui est prédominante dès que la fréquence augmente) et en parallèle une capacité (entre spires, etc..) qui changent son comportement en haute et très haute fréquences.

Le schéma réel d'une bobine :



Ce schéma réel montre qu'une bobine insérée, par exemple dans un montage amplificateur, peut être le siège d'oscillations non désirées à la fréquence de résonance du circuit bouchon formée par la bobine réelle.

Il faut donc choisir avec précaution la bobine pour la gamme de fréquences d'utilisation (bien en-dessous de sa fréquence de résonance).

Le facteur de qualité d'une bobine réelle :

Le rapport entre l'impédance de la bobine et sa résistance pure détermine le déphasage mais aussi le coefficient de qualité appelé facteur Q : on a $Q = Z / R$ (ou $Q = 1 / \cos \alpha$).

Q exprime le rapport entre l'énergie totale emmagasinée dans le composant et l'énergie qui sera dissipée en chaleur.

Si R est petit par rapport à Z, le déphasage est faible et $Q = 2\pi FL/R$. Q dépend donc de la fréquence mais aussi de la résistance pure : plus R est petit, plus le coefficient de qualité Q est important et meilleur est la bobine.

(Voir plus loin des exemples du facteur Q donnés par les fabricants de bobine dans les tableaux).

II.4 Le groupement des bobines

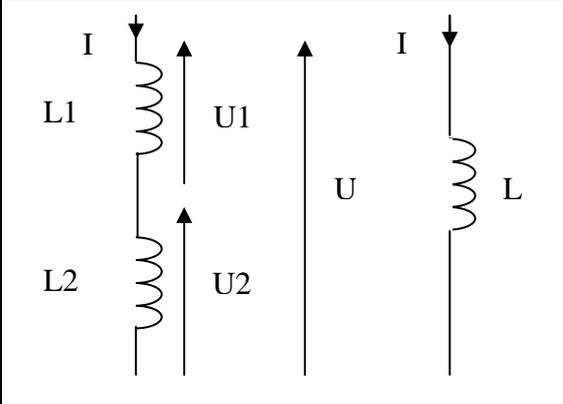
Il peut être utile de recourir à un groupement de bobines pour disposer d'une valeur de bobine qui n'existe pas dans les valeurs normalisées produites par l'industrie ou pour des raisons de place ou autres. Cependant le groupement de bobines est très peu utilisé.

Il existe 2 types de groupement : série et parallèle.

Remarques :

- le résultat du groupement des bobines est analogue à celui des résistances (voir chapitre suivant).
- il faut faire très attention à la disposition des bobines les unes par rapport aux autres, si elles sont proches et dans le même axe leur influence mutuelle est maximale (phénomène de couplage). Par contre si elles sont disposées à 90° les unes par rapport aux autres l'influence mutuelle est minimale ($\neq 0$). Pour minimiser, l'influence mutuelle on peut recourir à des blindages ou à une bobine sur un tore.

II.4.1 Le groupement de bobines en série

	<p>Formules</p> $U = j L \omega I$ $U = U1 + U2 = jL1\omega I + jL2\omega I = j (L1 + L2) I$ <p>Car I est le même dans les 2 schémas, et donc</p> $L = L1 + L2$ <p>Dans un groupement en série, l'inductance équivalente est la somme des inductances et donc plus grande que la plus grande des inductances du groupement.</p> <p>Exemple : $L1 = 100 \mu\text{H}$, $L2 = 1\text{mH}$</p> $\rightarrow L = 100 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 10^{-3}\text{H} = 1,1 \text{ mH}$
---	--

II.4.2 Le groupement de bobines en parallèle

	<p>Formules</p> $U = jL\omega I$ $I = I1 + I2 \text{ et } U = jL1\omega I1 = jL2\omega I2$ <p>U est le même dans les 2 schémas, donc</p> $L = \frac{L1 \times L2}{L1 + L2}$ <p>Dans un groupement en parallèle, l'inductance équivalente est plus petite que la plus petite des inductances du groupement.</p> <p>Exemple : $L1 = 100 \mu\text{H}$, $R2 = 1 \text{ mH}$</p> $\rightarrow L = \frac{100 \cdot 10^{-3} \times 1000 \cdot 10^{-3}}{(100 + 1000) \cdot 10^{-3}} = \frac{100000}{1100} = 90,90 \mu\text{H}$
--	--

II.5 Les différents types de bobine

II.5.1 La bobine à air

Bobine à air à spires jointives à plusieurs couches



Bobine à spires jointives à plusieurs couches de fil de cuivre émaillé destinée aux basses fréquences et utilisée pour construire des filtres d'enceintes acoustiques Hi-fi

Ici une bobine de 0,85 mH



Bobine à spires jointives à plusieurs couches de fil de cuivre émaillé destinée aux basses fréquences et utilisée pour construire des filtres d'enceintes acoustiques Hi-fi

Ici une bobine de 1,10 mH

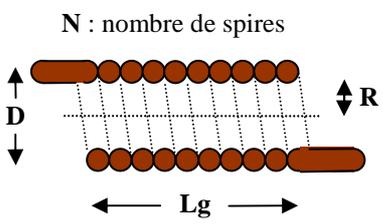


Bobine à spires jointives à une seule couche

Appelée Solénoïde (lorsque la longueur est plus grande que la hauteur).

II.5.2 Formule de calcul de l'inductance d'une bobine à air à spires jointives

Une seule couche

Formule

1^{ère} formule :

$$L = \frac{k * D * N^2}{1000}$$

k = coefficient dépendant du diamètre D et de la longueur Lg.

$$k = \frac{100 * D}{4 * D + 11 * Lg}$$

2^{ème} formule

Formule de Nagaoka simplifiée

$$L = \frac{N^2 * R^2}{22,5 R + 25 Lg}$$

L en µH, Lg en cm

3^{ème} formule

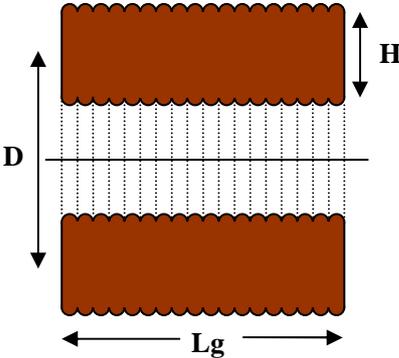
$$L_{1c} = \frac{98,75 * N^2 * D^2 * k_1}{Lg}$$

L en µH, Lg en cm, D en cm, R en cm

L_{1c} : inductance de la bobine à 1 couche
D : diamètre en cm,
R : rayon intérieur (cm),
Lg : longueur (cm),
N : nombre de spires
k₁ : facteur de correction fonction du rapport D / Lg voir tableau ci-dessous

D/Lg	k ₁
0,1	0,96
0,2	0,92
0,5	0,82
1,0	0,70
2,0	0,52
5,0	0,32
10	0,20
20	0,12
50	0,06

Plusieurs couches pour une grande bobine



Bobine de grande taille à plusieurs couches de spires jointives

Formule :

$$L_{\text{grande}} = L_{1c} - 1,08 * \frac{D * H * N^2}{Lg} * k_{\text{grande}}$$

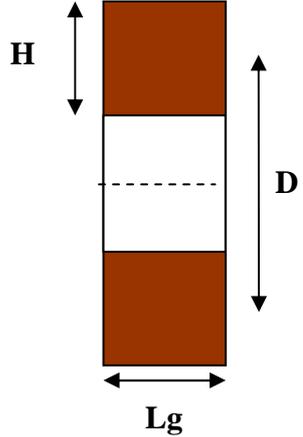
L_{1c} : inductance de la bobine courte
 D : diamètre mesuré entre les centres des 2 bobinages (cm)
 H : épaisseur du bobinage (cm)
 N : nombre de spires
 Lg : longueur de la bobine (cm)
 k_{grande} : le facteur de correction de la grande bobine dépend du rapport Lg/H

Lg/H	k_{grande}
1	0,70
2	0,82
3	0,83
4	0,90
5	0,92
7	0,95
10	0,97
20	1,00

Autre formule :

$$L = \frac{0,08 * D^2 * N^2}{3 d + 9 Lg + 10 H}$$

L : inductance en μH

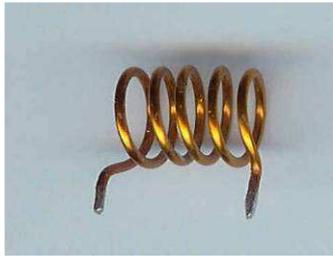


Bobine courte à plusieurs couches de spires jointives

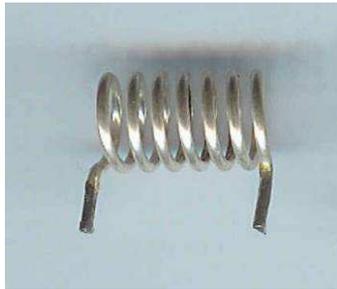
Si $D = 3 * Lg$ et $H = Lg$ on a la formule simplifiée :

$$L = \frac{D * N^2}{100}$$

Bobine à air à spires non jointives



Bobine à spires non jointives de fil de cuivre émaillé destinée aux hautes fréquences,



Bobine à spires non jointives de fil de cuivre argenté (traité contre l'oxydation) destinée aux hautes fréquences,



Bobine à spires non jointives de fil de cuivre argenté (traité contre l'oxydation) destinée aux très hautes fréquences,

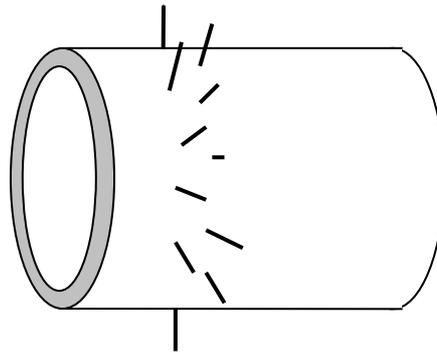


Bobine à 3/4 spire (épingle à cheveux) et une ligne de fil de cuivre argenté (traité contre l'oxydation) destinée aux très hautes fréquences,
Pour une ligne, l'inductance est d'environ de 1 μH par m

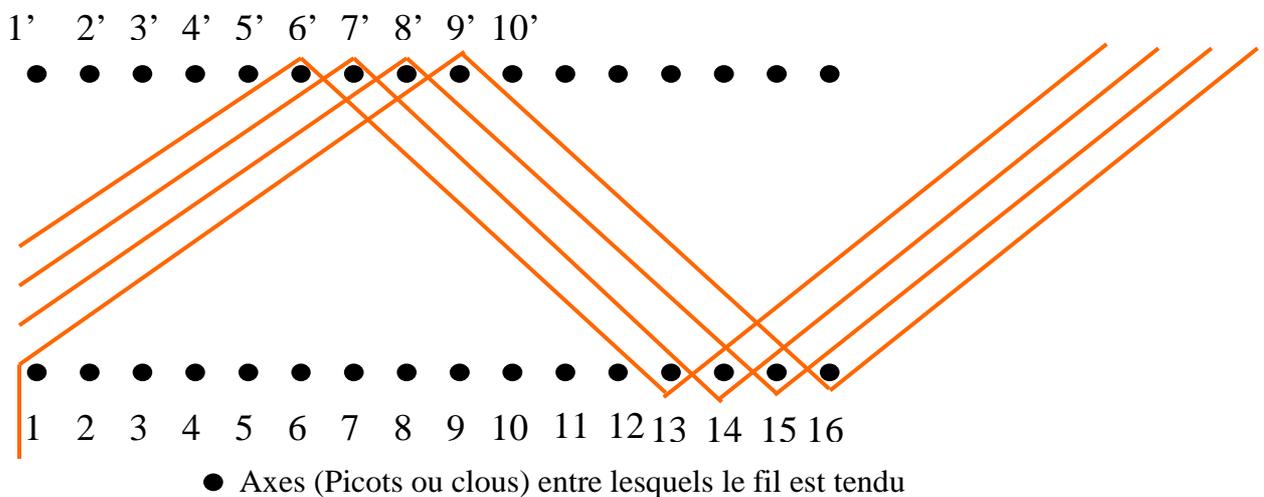
II.5.3 La bobine en « nid d'abeille »

Autrefois, certaines bobines étaient fabriquées sur un cylindre de carton ou de bakélite puis plus tard en plastique et bobinées selon un procédé dit en "nid d'abeille". Cela permettait de fabriquer des bobines à faibles capacités réparties afin de pouvoir « monter plus haut en fréquence ».

En effet, lorsque deux fils isolés sont bobinés en parallèles et en contact (mais isolés !), ils présentent une capacité « parasite » plus importante que s'ils étaient croisés (et à angle droit). Ainsi ce type de bobinage est utilisé lorsque le nombre de spires de la bobine à fabriquer est important.



Clous plantés sur un tube (mandrin) autour desquels le fil est tendu, puis les fils sont recouverts de vernis et les clous retirés.

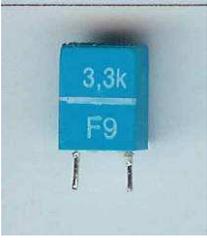
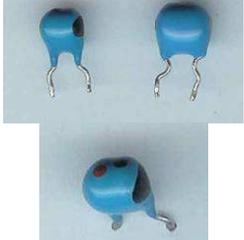
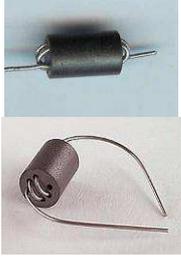
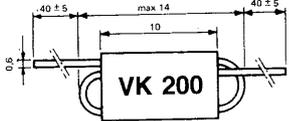


L'ordre de passage du fil autour des 2 rangées de 16 picots sera :

1, 9', 16, 8', 15, 7', 14, 6', 12', 3, 11', 2, 10', 1 ...

II.5.4 La bobine moulée et la bobine de choc

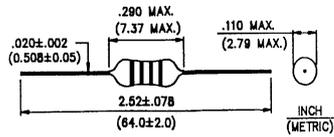
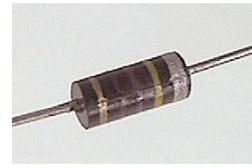
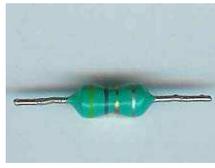
Quelques fabricants Microspire, Neosid, Schaffner, Toko,

	<p>Noyau en ferrite dans un boîtier en plastique, fils de connexion radiaux au pas de 5,08 mm. Tolérance : $\pm 5\%$. Puissance dissipée autorisée à 40°C/240 mW</p> <p>Utilisation : découplage, correction ou antiparasitage dans la gamme hautes fréquences/basses fréquences et dans les circuits sélectifs..</p> <p>Valeur exprimée en μH ici 3,3k = 3300 μH = 3,3 mH</p> <p>←Bobine Moulée Neosid et le tableau →</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>$L \pm 5\%$ [μH]</th> <th>f [kHz]</th> <th>Q</th> <th>f [MHz]</th> <th>$f_{\text{res}} \geq$ [MHz]</th> <th>$R \leq$ [Ω]</th> <th>I_{max} [mA]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>10*</td><td>100</td><td>55</td><td>1</td><td>38</td><td>0,55</td><td>660</td></tr> <tr><td>12</td><td>100</td><td>55</td><td>1</td><td>32</td><td>0,6</td><td>630</td></tr> <tr><td>15</td><td>100</td><td>60</td><td>1</td><td>27</td><td>0,7</td><td>580</td></tr> <tr><td>18</td><td>100</td><td>60</td><td>1</td><td>23</td><td>0,75</td><td>550</td></tr> <tr><td>22</td><td>100</td><td>60</td><td>1</td><td>20</td><td>0,85</td><td>530</td></tr> <tr><td>27</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>18</td><td>0,9</td><td>510</td></tr> <tr><td>33</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>16</td><td>0,95</td><td>500</td></tr> <tr><td>39</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>14</td><td>1,1</td><td>470</td></tr> <tr><td>47</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>12</td><td>1,2</td><td>450</td></tr> <tr><td>56</td><td>30</td><td>60</td><td>1</td><td>11</td><td>1,3</td><td>440</td></tr> <tr><td>68</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>10</td><td>1,4</td><td>410</td></tr> <tr><td>82</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>8</td><td>1,6</td><td>390</td></tr> <tr><td>100</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>7</td><td>1,8</td><td>360</td></tr> <tr><td>120</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>5,5</td><td>2</td><td>350</td></tr> <tr><td>150</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>4,5</td><td>2,2</td><td>330</td></tr> <tr><td>180</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>2,8</td><td>2,5</td><td>310</td></tr> <tr><td>220</td><td>30</td><td>50</td><td>0,5</td><td>2,5</td><td>2,8</td><td>290</td></tr> <tr><td>270</td><td>10</td><td>50</td><td>0,5</td><td>2,2</td><td>3,1</td><td>275</td></tr> <tr><td>330</td><td>10</td><td>50</td><td>0,5</td><td>2</td><td>3,4</td><td>260</td></tr> <tr><td>390</td><td>10</td><td>65</td><td>0,5</td><td>3,5</td><td>8</td><td>180</td></tr> <tr><td>470</td><td>10</td><td>70</td><td>0,5</td><td>3</td><td>9</td><td>170</td></tr> <tr><td>560</td><td>10</td><td>70</td><td>0,5</td><td>2,5</td><td>10</td><td>160</td></tr> <tr><td>680</td><td>10</td><td>70</td><td>0,5</td><td>1,5</td><td>11</td><td>140</td></tr> <tr><td>820</td><td>10</td><td>70</td><td>0,5</td><td>1,5</td><td>12</td><td>140</td></tr> </tbody> </table>	$L \pm 5\%$ [μH]	f [kHz]	Q	f [MHz]	$f_{\text{res}} \geq$ [MHz]	$R \leq$ [Ω]	I_{max} [mA]	10*	100	55	1	38	0,55	660	12	100	55	1	32	0,6	630	15	100	60	1	27	0,7	580	18	100	60	1	23	0,75	550	22	100	60	1	20	0,85	530	27	30	60	1	18	0,9	510	33	30	60	1	16	0,95	500	39	30	60	1	14	1,1	470	47	30	60	1	12	1,2	450	56	30	60	1	11	1,3	440	68	30	50	0,5	10	1,4	410	82	30	50	0,5	8	1,6	390	100	30	50	0,5	7	1,8	360	120	30	50	0,5	5,5	2	350	150	30	50	0,5	4,5	2,2	330	180	30	50	0,5	2,8	2,5	310	220	30	50	0,5	2,5	2,8	290	270	10	50	0,5	2,2	3,1	275	330	10	50	0,5	2	3,4	260	390	10	65	0,5	3,5	8	180	470	10	70	0,5	3	9	170	560	10	70	0,5	2,5	10	160	680	10	70	0,5	1,5	11	140	820	10	70	0,5	1,5	12	140
$L \pm 5\%$ [μH]	f [kHz]	Q	f [MHz]	$f_{\text{res}} \geq$ [MHz]	$R \leq$ [Ω]	I_{max} [mA]																																																																																																																																																																											
10*	100	55	1	38	0,55	660																																																																																																																																																																											
12	100	55	1	32	0,6	630																																																																																																																																																																											
15	100	60	1	27	0,7	580																																																																																																																																																																											
18	100	60	1	23	0,75	550																																																																																																																																																																											
22	100	60	1	20	0,85	530																																																																																																																																																																											
27	30	60	1	18	0,9	510																																																																																																																																																																											
33	30	60	1	16	0,95	500																																																																																																																																																																											
39	30	60	1	14	1,1	470																																																																																																																																																																											
47	30	60	1	12	1,2	450																																																																																																																																																																											
56	30	60	1	11	1,3	440																																																																																																																																																																											
68	30	50	0,5	10	1,4	410																																																																																																																																																																											
82	30	50	0,5	8	1,6	390																																																																																																																																																																											
100	30	50	0,5	7	1,8	360																																																																																																																																																																											
120	30	50	0,5	5,5	2	350																																																																																																																																																																											
150	30	50	0,5	4,5	2,2	330																																																																																																																																																																											
180	30	50	0,5	2,8	2,5	310																																																																																																																																																																											
220	30	50	0,5	2,5	2,8	290																																																																																																																																																																											
270	10	50	0,5	2,2	3,1	275																																																																																																																																																																											
330	10	50	0,5	2	3,4	260																																																																																																																																																																											
390	10	65	0,5	3,5	8	180																																																																																																																																																																											
470	10	70	0,5	3	9	170																																																																																																																																																																											
560	10	70	0,5	2,5	10	160																																																																																																																																																																											
680	10	70	0,5	1,5	11	140																																																																																																																																																																											
820	10	70	0,5	1,5	12	140																																																																																																																																																																											
	<p>Voir le code des couleurs pour la valeur de l'inductance.</p> <p>← Ici une bobine de 10 μH</p>																																																																																																																																																																																
	<p>La valeur est indiquée sur le dessus suivant le code IEC (voir le code de marquage)</p> <p>Ici : 102 = 1000 μH</p>																																																																																																																																																																																
	<p>Bobine de 5 μH : 27 spires de fil de cuivre \varnothing 0.5 mm bobinées sur un bâtonnet ferrite de \varnothing 1.6 mm de 18 mm de long.</p>																																																																																																																																																																																
	<p>Bobine de choc VK200 (self de choc) sur tube de ferrite, Dimensions : \varnothing : 6 mm, L = 10mm (14 max)</p> <p>2,5 spires, 10 μH 1,5 spires, 10 μH Impédance $Z = 600 \Omega$ à 50Mhz, $Z_{\text{max}} = 850 \Omega$ à 150 Mhz</p>	<p>Utilisation : suppression / diminution des rayonnements parasites, les couplages non désirés dans les circuits radio, etc...</p> 																																																																																																																																																																															

Le **ferrite** est une céramique ferromagnétique à base d'oxyde de fer, elle est fragile et peut se casser (ex : bâton de ferrite (#20 cm de long) d'un cadre magnétique pour la réception des ondes longues, moyennes et courtes dans un récepteur radio classique.

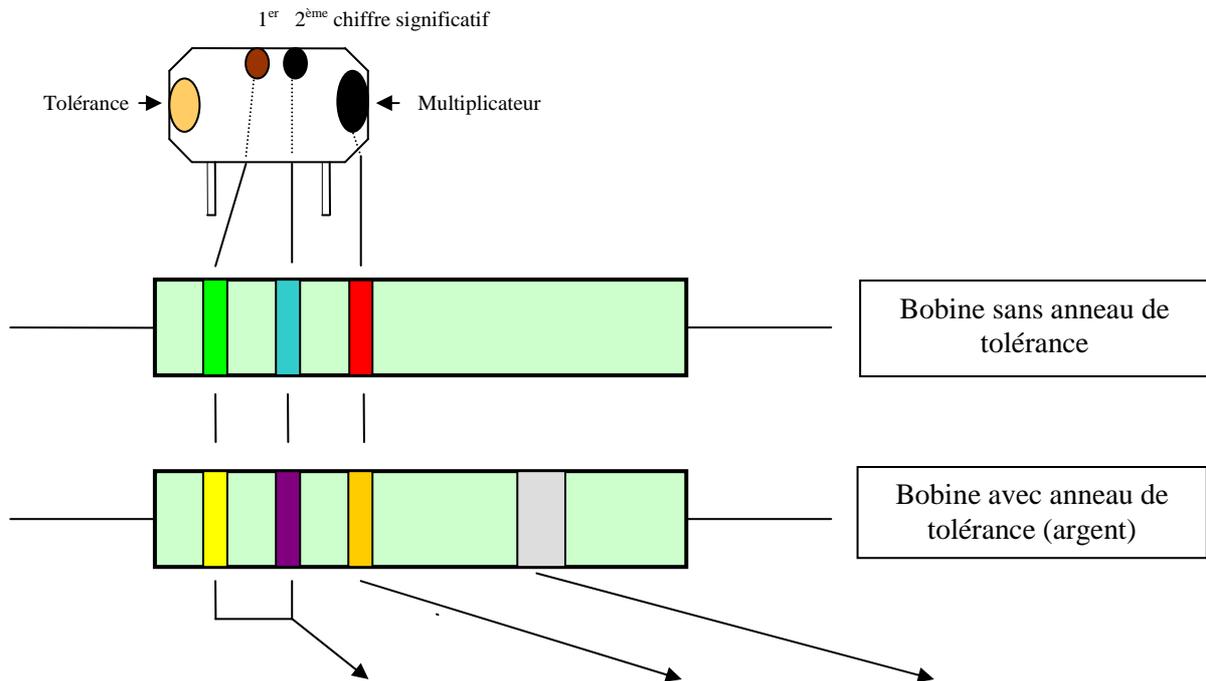
En radio et électronique, une ferrite est un composant utilisé pour supprimer/diminuer les parasites HF et les couplages non désirés.

II.5.5 Le code des couleurs pour les bobines



Bobines d'arrêt HF sur noyau ferrite
 Q mini : 30 • Tolérance : ±10%
 Dimensions : Ø4 x 10mm
 Courant maxi : 700mA (0,1µH) à 40mA (4,7mH)

Tableau du code des couleurs (l'inductance est exprimée en µH)



Mnémotechnique Initiale du mot = Initiale Couleur	Chiffres significatifs	Multiplicateur	Tolérance
Ne	Noir : 0	x 1	± 20 %
Mangez	Marron : 1	x 10	
Rien	Rouge : 2	x 100	
Ou	Orange : 3	1 k	
Je	Jaune : 4	10 k	
Vous	Vert : 5	100 k	
Battrai	Bleu : 6	1 M	
VIOlement	Violet : 7	10 M	
Grand	Gris : 8		
BOA ←	Blanc : 9		
		Argent : x 0,01	± 10 %
		Or : x 0,1	± 5 %
			Sans anneau ±20% ou ± 10%

Exemples :

1. la première bobine (2 points = 2 chiffres significatifs (marron = 1, noir = 0), 1 gros point à coté : le multiplicateur (noir = 0 → x 1), le 2^{ème} gros point : la tolérance soit 10μH valeur donnée à ± 10%
2. la deuxième bobine (3 anneaux → 2 chiffres significatifs (vert = 5, bleu = 6 → 56), 1 multiplicateur (rouge = 2 → x 100), tolérance (sans anneau = 10%) soit **5600 μH = 5,6mH** valeur donnée à ± 10%

II.5.6 Le code de marquage des inductances

Le code de marquage normalisé des bobines est donné ci-dessous :

R10 = 0,1 μH

1R0 = 1 μH

152 J = 1500 μH à ± 5 % (La lettre J indique la tolérance voir le tableau ci-dessous)

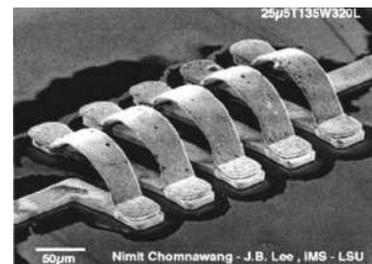
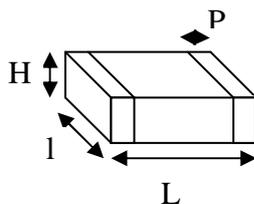
332 M = 3300 μH à ± 20 %

La tolérance est indiquée par une lettre (pas toujours mentionnée)

Lettre code	Tolérance
B	
C	
D	± 0,5 %
F	± 1 %
G	± 2 %
H	± 2,5 %
J	± 5 %
K	± 10 %
M	± 20 %
R	+30% -20%
S	+50% -20%
Z	+80% -20%

II.5.7 La bobine CMS

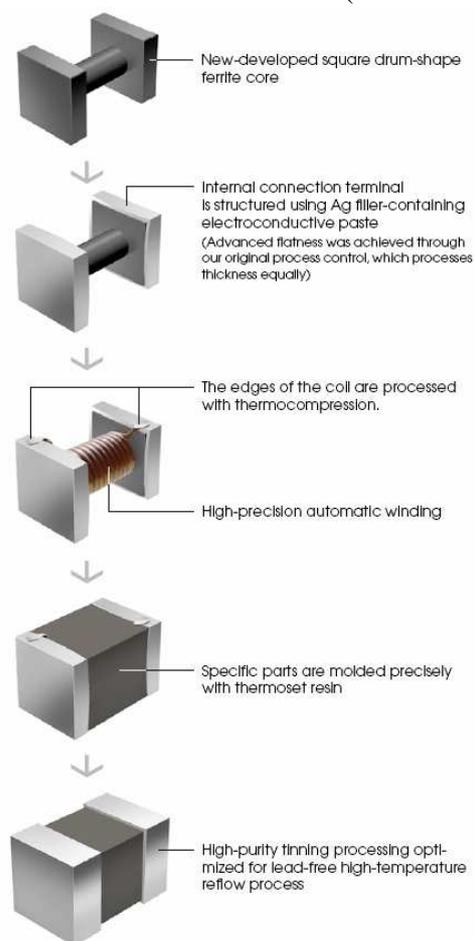
La bobine montée en surface fait partie des composants montés en surface (CMS). Ce sont des composants miniatures, sans fils de connexion, et directement soudés sur le circuit imprimé. Ces bobines permettent une intégration importante (gain de place) et sont recommandées dans le domaine des (très) hautes fréquences du fait d'une inductance très faible (dimensions réduites sans fils de connexion). Par contre, elles sont difficiles à manipuler et à souder pour un amateur ne disposant pas d'un matériel industriel adéquat.



Bobine ultra miniature 300 μm

Boîtier Code	L mm	l mm	H mm
0201	0,6	0,3	0,12
0402	1,0	0,5	0,35
0603	1,6	0,8	0,5 à 1,2
0805	2	1,25	0,5 à 1,4
1206	3,2	1,6	0,55 à 1,6
1210	3,2	2,5	0,56
1608	1,6	0,8	0,8
2010	5,0	2,5	0,56
2012	2,0	1,25	1,25
2512	6,3	3,2	0,56
2518	2,5	1,8	1,8

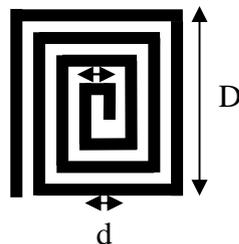
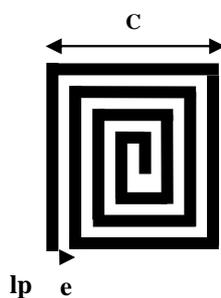
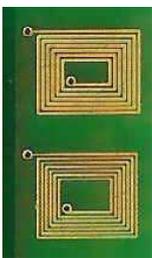
Exemple de fabrication de bobine cms (documentation TDK)



II.5.8 La bobine imprimée

La bobine imprimée est gravée directement sur le circuit imprimé soit en forme de spirales rondes ou carrées soit sous forme d'une ligne (piste de circuit imprimé). Cette méthode de réalisation présente les avantages suivants :

- la facilité de reproduction de la bobine puisqu'elle est gravée en même temps que le circuit imprimé,
- la réduction du nombre de composants à implanter,
- l'insensibilité aux vibrations.



Formule

lp = largeur de la piste imprimée

e = espace entre les pistes

C = largeur d'un côté du carré

Connaissant la valeur L de l'inductance, on peut calculer les dimensions de la bobine à graver (en mm).

$$C = (L / K)^{0,375} \quad K \text{ voir ci-dessous}$$

avec $K = 2,7 * 10^{-9} * (1 / (1 + e/lp))^{1,67} * 1/lp^{1,67}$

Autre formule :

$$L = \frac{(D + d)}{72} N^{5/3} \log \frac{(4D + d)}{D - d}$$

L : inductance en μH

D : longueur du côté spire extérieure en mm

d : longueur du côté spire intérieure en mm

N : nombre de spires

II.5.9 La bobine ajustable / variable

La bobine variable est une bobine dont on peut faire varier l'inductance. Il existe divers dispositifs de réglage, en général, au moyen d'un noyau en ferrite (ou autres) inséré dans la bobine et que l'on peut visser ou dévisser et qui change la valeur de l'inductance.

Dans d'anciennes radios, le noyau en ferrite était solidaire d'un fil souple enroulé sur le bouton de réglage de la fréquence d'accord manipulé par l'opérateur (assez rare).

Il existe aussi des bobines sur roulette dont le contact est mobile le long de la bobine (assez rare).

II.6 L'inductance mètre - le pont RLC

L'inductance mètre permet de mesurer l'inductance d'une bobine. Il peut être intégré à un multimètre universel, à un pont RLC ou être un appareil dédié à ce type de mesure.

La mesure est basée soit

- sur la formule $U=ZxI = jL \omega I$ d'où $L=U/j \omega I = -jU / \omega I$ ou si on tient compte de la résistance $U=ZxI = (R + jL \omega) I$. La mesure de l'inductance est donc complexe car il faut mesurer des tensions et intensités alternatives à la pulsation $\omega (= 2 \pi f)$ et prendre la partie déphasée de 90° par rapport à l'intensité.
- sur la mesure de la fréquence de résonance d'un circuit bouchon formée par la bobine à mesurer et une capacité connue $L = 1/C \omega^2$. Ce type de mesure ne donne pas directement la valeur de l'inductance, il faut faire le calcul manuellement ou grâce à un micro contrôleur intégré à l'inductance mètre qui enverra la valeur directe sur un afficheur (voir sur Internet des montages radioamateur de ce type).
- sur la variation linéaire d'un courant traversant la bobine et générant une tension constante proportionnelle à l'inductance de la bobine. Ce type de mesure est réservé à la mesure des bobines en BF. Formule = $U = \frac{d\phi}{dT} = L \frac{dI}{dT}$ (avec $\frac{dI}{dT} = \text{constante}$)

Mesure de l'inductance d'une bobine à air par la fonction inductance mètre sur un

Multimètre
(L=0,85mH → L=0,795mH)



Pont de mesure RLC basses fréquences
(L=1,1mH → L=1,074mH)



III Le condensateur

III.1 Généralités

III.2 Groupement de condensateurs

III.3 Le condensateur fixe

III.4 Le code des couleurs

III.5 Le code de marquage

III.5.1 Le code de marquage des condensateurs

Le code de marquage normalisé des condensateurs est donné ci-dessous :

Marquage	Capacité
p33	0,33 pf
3p3	3,3 pf
33p	33 pf
330p	330 pf
n33	330 pf
3n3	3,3 nf
33 n	33 nf
330n	330 nf
μ 33	0,33 μ f
3 μ 3	3,3 μ f
33 μ	33 μ f

Tolérance : la tolérance est indiquée par une lettre (qui n'existe pas toujours)

Lettre code	Tolérance C < 10pf	Tolérance C > 10pf
B	$\pm 0,1$ pf	
C	$\pm 0,25$ pf	
D	$\pm 0,5$ pf	$\pm 0,5$ %
F	± 1 pf	± 1 %
G	± 2 pf	± 2 %
H		$\pm 2,5$ %
J		± 5 %
K		± 10 %
M		± 20 %
R		+30% -20%
S		+50% -20%
Z		+80% -20%

III.6 Le condensateur variable

III.7 Le capacimètre

IV La diode (semi-conducteur)

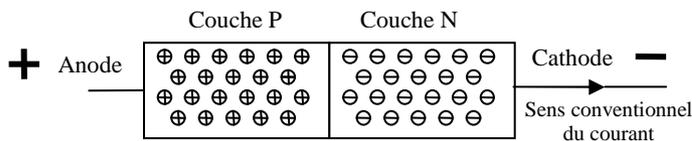
IV.1 La diode – Généralités

La diode est un composant actif à semi-conducteur de type polarisé qui ne laisse passer le courant que dans un sens indiqué arbitrairement par une flèche. Les diodes sont formées de deux cristaux semi-conducteurs en Silicium ou en Germanium accolés et dopés N et P. Le courant électrique circule dans le sens P → N. Extérieurement le composant est muni de 2 connexions extérieures : l'anode et la cathode.

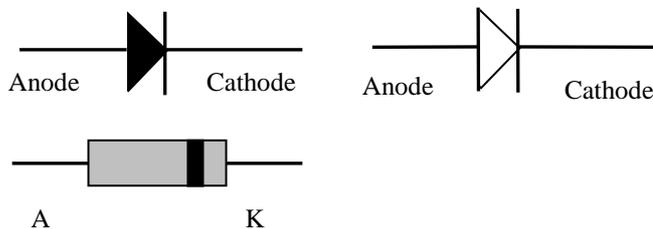
Lorsque la diode est passante, l'anode est reliée au + et la cathode au -. En sens inverse, la résistance de la diode est très importante (plusieurs centaines de kΩ). La cathode de la diode est repérée par la lettre K sur le dessin ci-dessous et en général par une bague de couleur sur le composant. Le boîtier métallique des diodes de puissance est en général relié à la cathode ; un pas de vis permet de fixer la diode sur un radiateur pour dissiper plus de puissance.

Il existe d'autres types de diodes ayant des propriétés (légèrement) différentes et d'usages particuliers, voir les chapitres ci-dessous.

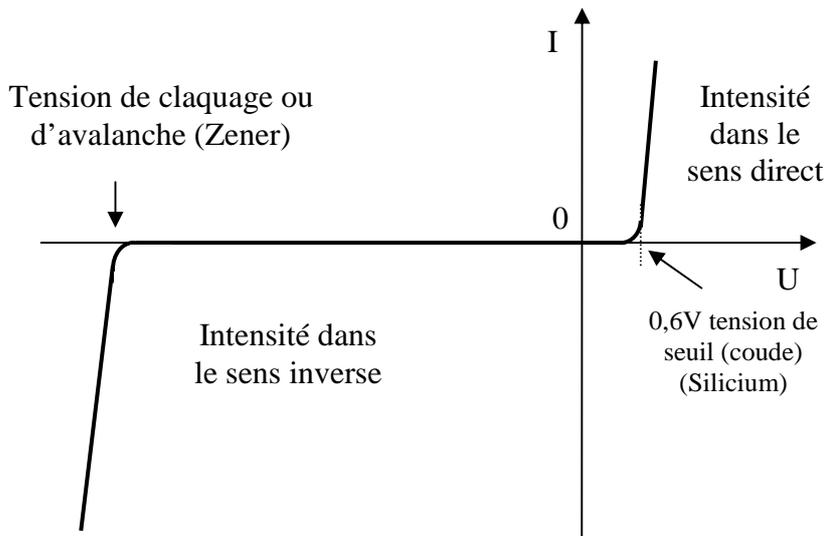
Structure de la jonction d'une diode classique



Représentation de la diode classique



Courbes et caractéristiques de fonctionnement d'une diode « classique »



Les diodes classiques ont une **chute de tension dans le sens direct de 0,6 - 0,7 V** pour les diodes au **Silicium (Si)** et **0,3 V** pour celles au **Germanium (Ge)**. En sens direct, dès que la tension augmente au dessus du seuil (0,7 ou 0,3 V selon le cas), l'intensité dans la diode augmente très vite. En sens inverse, les diodes ont une résistance interne très élevée : plus la tension est élevée, plus leur barrière de potentiel, isolante (voir plus loin en italique), s'élargit et plus faible est la valeur de la capacité : c'est l'**effet Varicap**. Les diodes peuvent supporter des tensions inverses importantes jusqu'à leur tension de claquage ou d'avalanche (**tension Zener**). A ce moment, la résistance de la diode devient nulle. Cet état peut être réversible (diode Zener) ou irréversible (destruction ou claquage d'une diode de redressement).

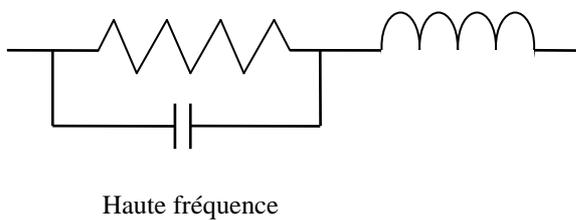
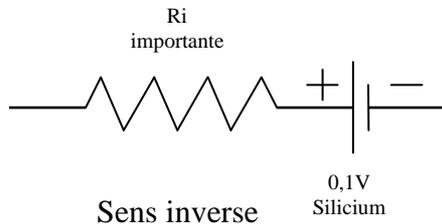
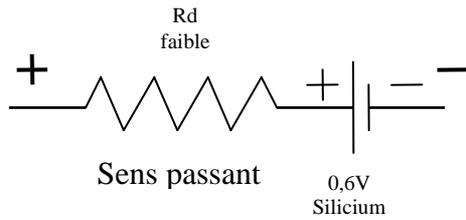
IV.1.1 Les différents matériaux semi-conducteurs utilisés

Les matériaux semi-conducteurs les plus utilisés sont le germanium, très utilisé autrefois, et le silicium actuellement utilisé. Le dopage P ou N est effectué avec divers éléments : gallium ; indium, arsenic, etc... La technologie avançant d'autres éléments sont utilisés.

IV.1.2 Le circuit équivalent d'une diode

Le schéma équivalent d'une diode est complexe et dépend des caractéristiques à faire ressortir suivant le domaine de fréquence : continu (sens direct, sens inverse), basse fréquence, haute fréquence et très haute fréquence et commutation.

Ci-dessous, quelques exemples de schémas équivalent en fonction du domaine fréquentiel d'utilisation

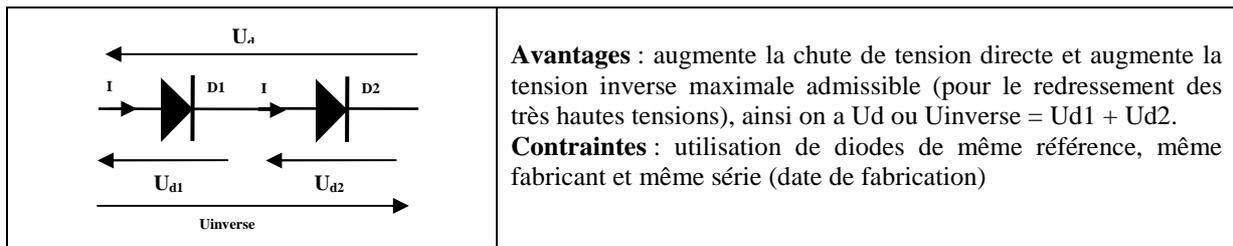


IV.2 Le groupement de diodes

Dans certains cas il peut être intéressant de recourir à des groupements de diodes.

Le groupement série

Ce type de groupement de diodes est utilisé pour le redressement de très hautes tensions en augmentant la tension inverse supportée par l'ensemble (en respectant certaines contraintes) et la tension directe dans certains cas de stabilisations de tensions.



Le groupement parallèle

Ce type de groupement de diodes est utilisé pour augmenter l'intensité du courant redressé en minimisant la chute de tension dans les diodes (quelques dixièmes de millivolts en moins) et pour répartir la chaleur dissipée dans les composants. Ce type de groupement est utilisé par quelques fabricants d'alimentation de puissance de postes CB et radioamateur (la tension d'alimentation = 13,8V et l'intensité du courant 10A à 20A).

Les précautions suivantes doivent être prises : n'utiliser que des diodes de même référence, du même fabricant et de la même série (date de fabrication) pour minimiser la dispersion des caractéristiques des diodes et égaliser le courant dans chaque diode.

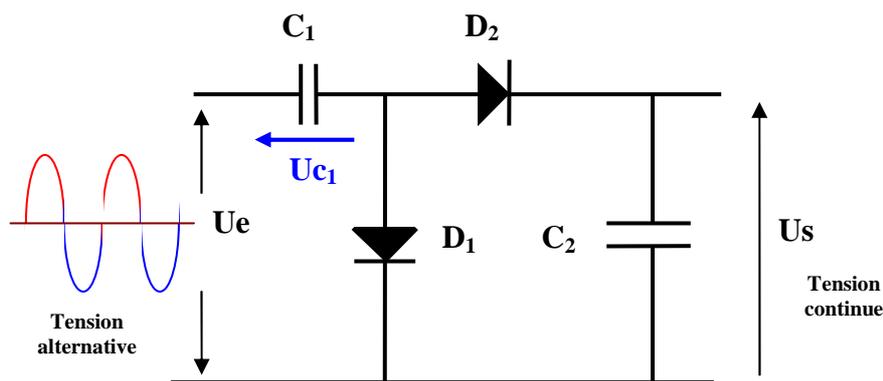
	<p>Avantages : augmente le courant redressé ($I = I_1 + I_2$) et minimise la chute de tension dans les diodes (qqs 10 mv), économise une diode de puissance, répartit la chaleur dégagée par les diodes.</p> <p>Contraintes : utilisation de diodes de même référence, même fabricant et même série (date de fabrication).</p>	
	<p>Si les diodes ont des caractéristiques différentes (références différentes). Alors, le courant I_1 dans la diode D1 est différent du courant I_2 dans la diode D2. Voir l'explication sur le graphe ci-contre → :</p> <p>la chute de tension aux bornes des diodes est $U_d = 0,75V$, et le courant I_1 dans la diode noire est $I_1=3A$ et le courant I_2 dans la diode rouge $I_2 = 1,3A$, soit un déséquilibre de la répartition des courants dans les 2 diodes.</p>	<p>Courbe noire : diode D1 Courbe rouge : diode D2</p>

Le doubleur de Schenkel et de Latour (ingénieur Français)

Ce type de groupement de diodes fournit une tension de sortie continue du double de la tension alternative d'entrée. L'intensité fournie est peu élevée.

Doubleur de Schenkel :

Principe de fonctionnement : pendant l'alternance négative ($U_e < 0V$, bleue sur le schéma), le condensateur C_1 se charge à travers la diode D_1 tandis que D_2 est bloquée, isolant C_2 . Pendant l'alternance positive ($U_e > 0$, rouge sur le schéma) D_1 est bloquée et D_2 est passante. Le condensateur C_2 se charge alors à la tension $U_e + U_{c1}$ (mise en série de la tension U_e d'entrée et de la tension du condensateur U_{c1} fournie lors de l'alternance négative).



La tension de sortie U_s est comprise entre $2 U_e$ et $2,8U_e$ en fonction du courant fourni en sortie. La tension inverse de D_1 doit être supérieure à 3 fois celle de U_e et celle du condensateur C_1 à 1,5 fois U_e .

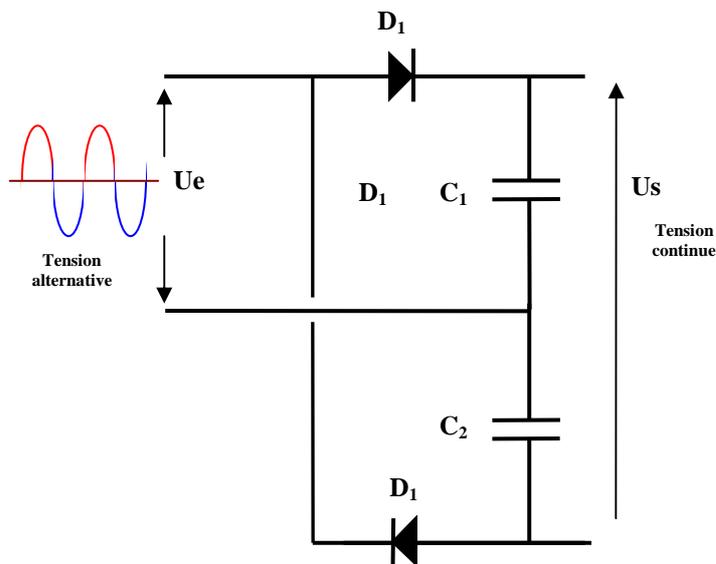
$$\text{La capacité du condensateur } C (\mu F) = \frac{100 * I_s (\text{mA})}{U_1 (\text{Volt})}$$

Ce type de montage peut être utilisé pour redresser la tension fournie par un étage FI et extraire la modulation AM ou pour fournir une tension plus élevée que celle disponible dans

l'appareil (ex : dans un récepteur radio la tension d'alimentation est de 13,8V et la tension doublée ($\approx 26V$) est utilisée pour alimenter les diodes Varicap de l'oscillateur local ou autre.

Doubleur de Latour

Le doubleur de Latour est analogue dans le principe au doubleur de Shenkel. Chaque alternance charge respectivement un des 2 condensateurs, ce qui donne une tension de sortie double aux bornes des 2 condensateurs montés en série.



Remarque : ce type de groupement peut être monté en série et répété dans le cadre d'un multiplicateur de tension pour obtenir une très haute tension (plusieurs Kilo volts) mais il faut apporter un soin particulier aux choix des condensateurs et à l'isolement des diodes utilisées quand à la tension inverse ou directe supportée.

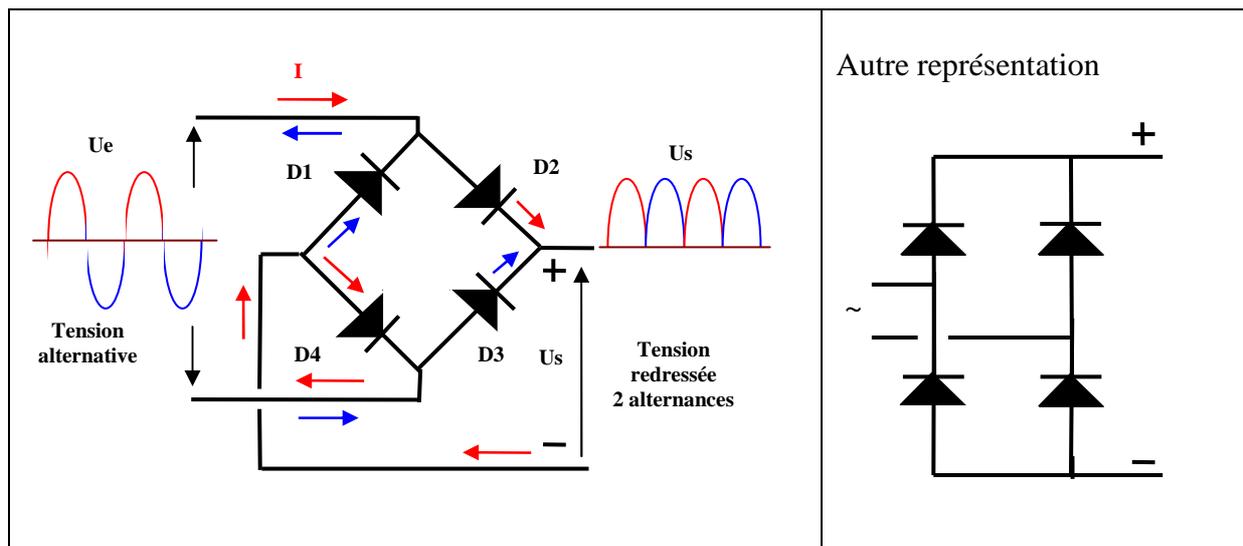
Le pont de Graëtz

Ce type de groupement de diodes permet de redresser les 2 alternances d'une tension d'entrée alternative. Ce dispositif nécessite l'emploi de 4 diodes ou d'un pont de diodes (les 4 diodes sont alors encapsulées dans un unique boîtier, voir le chapitre sur les ponts de diodes).

Les diodes conduisent 2 par 2 en diagonales suivant la polarité de la tension.

La tension inverse maximale appliquée à une diode est égale $U_e \text{ efficace} * \sqrt{2} = 1.414 U_e \text{ efficace}$.

Inconvénients : la tension redressée de sortie est diminuée de 2 fois la chute de tension d'une diode (le courant traverse à chaque alternances 2 diodes).



Le mélangeur en anneau (exemple SBL1 du fabricant Minicircuits)

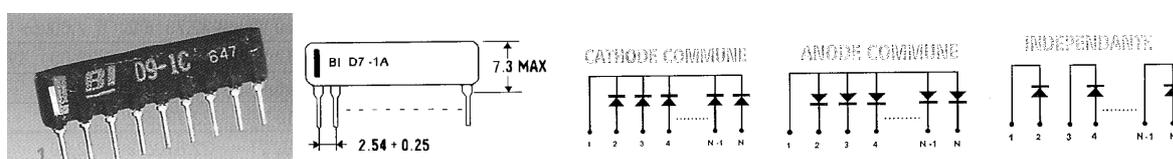
		<p>Double balanced mixer LO/RF, 1-500 MHz IF, DC-500 MHz +7dbm LO 8 pin package</p>	<p>Connexions</p> <table border="0"> <tr><td>LO</td><td>8</td></tr> <tr><td>RF</td><td>1</td></tr> <tr><td>IF</td><td>3,4</td></tr> <tr><td>GND</td><td>2,5,6,7</td></tr> </table>	LO	8	RF	1	IF	3,4	GND	2,5,6,7
LO	8										
RF	1										
IF	3,4										
GND	2,5,6,7										

Les diodes sont montées dans le même sens (à la différence du pont de Graëtz). Elles effectuent un mélange de la fréquence d'entrée (par exemple d'un récepteur Radio) sur la connexion marquée R(F) et la fréquence d'un oscillateur local (par exemple variable) sur la connexion marquée L(O) pour obtenir en sortie la somme des 2 fréquences ou leur différence qui après filtrage sert de fréquence intermédiaire sur la connexion marquée I(F).

Le réseau de diodes

Ce type de composant est utilisé pour un gain de place et aussi pour avoir des diodes ayant à peu près les mêmes caractéristiques et à la même température puisqu'elles sont fabriquées en même temps sur le même substrat. Il existe 3 trois types de réseaux de diodes :

- anode commune : les anodes des diodes, composant le réseau, sont reliées entre elles à une connexion extérieure,
- cathode commune : les cathodes des diodes, composant le réseau, sont reliées entre elles à une connexion extérieure,
- indépendante : l'anode et la cathode de chaque diode sont reliées à des connexions externes.

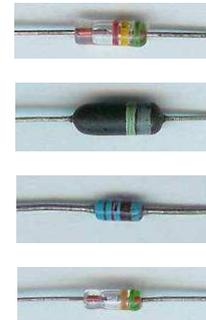
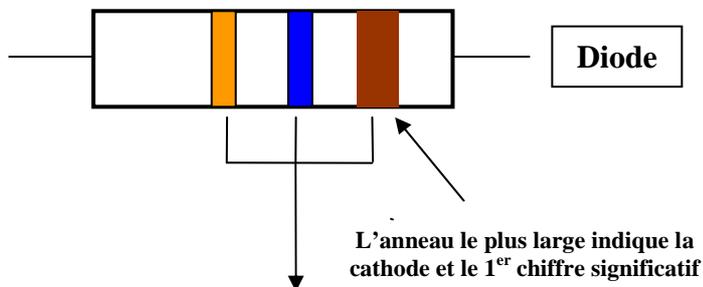


Documentation Beckman Industry

IV.3 Le marquage de la diode

IV.3.1 Le code des couleurs

La référence de certaines diodes (surtout anciennes) est indiquée par le code des couleurs et en général par trois anneaux suivant le code standard des couleurs.



Chiffres significatifs	Mnémotechnique Initiale du mot = Initiale Couleur
Noir : 0	Ne
Marron : 1	Mangez
Rouge : 2	Rien
Orange : 3	Ou
Jaune : 4	Je
Vert : 5	Vous
Bleu : 6	Battrai
Violet : 7	VIOlement
Gris : 8	Grand

Exemples :

1. la diode (3 anneaux → 3 chiffres significatifs (marron = 1, bleu = 6, orange = 3) soit la référence **1N63** (diode germanium à pointe $U_{inverse} = 125V$, $I_{direct\ max} = 50\ ma$, ...),
2. autre exemple : (3 anneaux → 3 chiffres significatifs (jaune = 4, bleu = 6, marron = 1) soit **461P1** (diode germanium à pointe détection FM).

IV.3.2 Le marquage en clair

Le marquage normes US, .. :

En général, la référence est indiquée en clair sur le corps des composants traditionnels (non CMS). Sur les composants CMS, c'est plus compliqué du fait du manque de place pour mentionner la référence complète.

La référence d'une diode commence par 1N ; exemples : 1N914, 1N4004, 1N4148.

La référence d'un transistor commence par 2N ; exemples : 2N1711, 2N2905, 2N3055.

Le marquage normes ProElectron (Extrait du guide de l'ingénieur 1972 (documentation RTC))

Le code de désignation des dispositifs à semi-conducteurs s'applique aux composants comportant ou non une jonction et aux dispositifs multiples définis comme étant constitué par une combinaison d'éléments actifs semblables ou dissemblables incorporés dans une

enveloppe commune qui ne peut être démontée, les électrodes de chaque élément étant accessibles de l'extérieur. Ce code s'applique en partie aux diodes.

La désignation consiste en 2 lettres suivies d'un code d'ordre.

Exemple :

A A 118

Première lettre Elle permet une distinction entre les dispositifs à jonction et sans jonction, et donne une indication relative au matériau	Seconde lettre Elle indique en premier lieu l'application principale et éventuellement l'application principale plus une indication relative à la fabrication lorsque celle-ci est nécessaire.	Code d'ordre
<p>Dispositifs à jonction</p> <p>A Dispositifs à une ou plusieurs jonctions, réalisés avec un matériau dont la bande interdite correspond à un niveau d'énergie compris entre 0,6 et 1 eV, par exemple le germanium</p> <p>B Dispositifs à une ou plusieurs jonctions réalisés avec un matériau dont la bande interdite correspond à un niveau d'énergie allant de 1 à 1,3 eV, par exemple le silicium</p> <p>C Dispositifs à une ou plusieurs jonctions réalisés avec un matériau dont la bande interdite correspond à un niveau d'énergie supérieur à 1,3 eV, l'arséniure de gallium par exemple</p> <p>D Dispositifs à une ou plusieurs jonctions réalisés avec un matériau dont la bande interdite correspond à un niveau d'énergie inférieur à 0,6 eV, tel que l'antimoniure d'indium.</p> <p>Dispositifs sans jonction</p> <p>R Dispositifs sans jonction réalisés avec des matériaux tels que ceux que l'on emploie dans les générateurs à effet Hall ou les cellules photo-conductrices</p>	<p>A Diode de détection, diode mélangeuse ou diode de commutation rapide</p> <p>B Diode à variation de capacité</p> <p>C Transistor pour audiofréquences (résistance thermique entre jonction et fond de boîtier supérieure à 15 °C/W)</p> <p>D Transistor de puissance pour audiofréquences (résistance thermique entre jonction et fond de boîtier inférieure ou égale à 15 °C/W)</p> <p>E Diode tunnel</p> <p>F Transistor pour radiofréquences (résistance thermique entre jonction et fond de boîtier supérieure à 15°C/W)</p> <p>G Dispositifs multiples composés d'éléments dissemblables</p> <p>H Mesureur de champ</p> <p>K Générateur à effet Hall en circuit magnétique ouvert, ex. sonde de mesure magnétomètre</p> <p>L Transistor de puissance pour radiofréquences (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier inférieure ou égale à 15 °C/W)</p> <p>M Générateur à effet Hall opérant en circuit magnétique fermé électriquement entretenu, ex. : modulateur ou multiplicateur de Hall.</p> <p>P Dispositif sensible aux radiations</p> <p>Q Dispositif générateur de radiations,</p> <p>R Dispositif à déclenchement électrique présentant une caractéristique d'avalanche et destiné aux applications de commutation, ou de contrôle d'énergie (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier supérieure à 15°C/W)</p> <p>S Transistor destiné aux applications de commutation (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier supérieure à 15 °C/W)</p> <p>T Dispositif à déclenchement par signal électrique ou lumineux présentant une caractéristique d'avalanche et destiné aux applications de commutation ou de contrôle d'énergie (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier inférieure ou égale à 15 °C/W) (1)</p> <p>U Transistor de puissance destiné aux applications de commutation (résistance thermique entre la jonction et le fond de boîtier inférieure ou égale à 15 °C/W)</p> <p>X Diode pour multiplicateur, par exemple varactor ou "step recovery diode"</p> <p>Y Diode de redressement "booster diode", "efficiency diode" ('j</p> <p>Z Diode régulatrice de tension ou diode de référence (1)</p>	<p>Trois chiffres pour les dispositifs semi-conducteurs destinés plus particulièrement aux applications dans le domaine grand public.</p> <p>Une lettre et deux chiffres pour les dispositifs semi-conducteurs destinés plus particulièrement aux équipements professionnels.</p>

(1) : Pour la désignation de type dans une gamme de dispositif donnée, voir page suivante.

Désignation de type d'une gamme de dispositifs à semi-conducteurs

Ces désignations concernent

- (a) Les diodes régulatrices de tension ou les diodes de référence (seconde lettre Z)
- (b) Les diodes de redressement (seconde lettre Y)
- (c) Les thyristors (seconde lettre T)

Chacun des types appartenant respectivement à une gamme ou type de base désigné par le code précédent, sera défini à l'aide d'un suffixe séparé de la désignation de gamme à l'aide d'un tiret.

Exemple et explication

Premier cas

BZY 99 – C 4V7 R

Désignation du type de base	Lettre indiquant la tolérance sur la tension de Zener	Valeur typique de la tension de Zener en volts	Polarité
D'après le code défini à la page précédente.	A 1 % B 2 % C 5 % D 10% E 15%	La valeur typique de la tension de Zener est donnée pour le courant nominal choisi pour toute la gamme. La lettre V est employée en lieu et place de la virgule chaque fois que celle-ci serait nécessaire.	La polarité dite normale, c'est-à-dire lorsque la cathode est reliée au boîtier, n'est pas spécialement indiquée. Dans le cas de polarité inverse, c'est-à-dire lorsque l'anode est reliée au boîtier, on spécifie la lettre R.

Deuxième et troisième cas

BTY 99 – 100 R

BYY 99 – 100 R

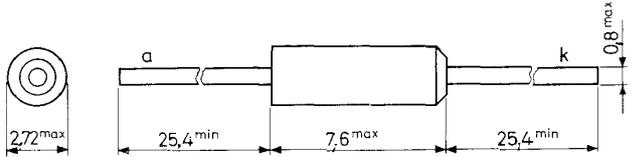
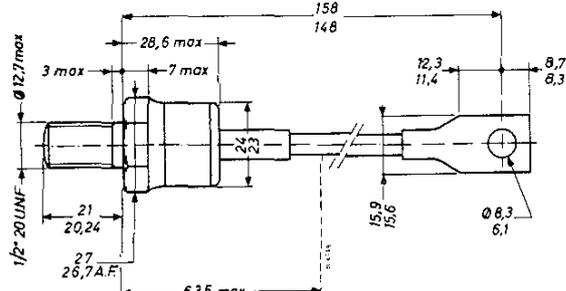
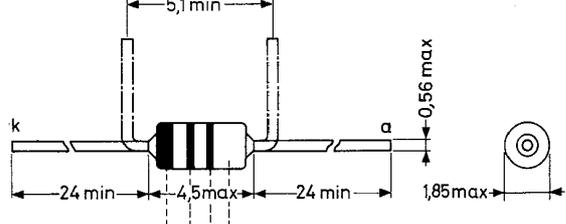
Désignation du type de base	Valeur maximale de tension inverse de crête récurrente exprimée en volts	Polarité
D'après le code défini à la page précédente.	Dans le cas des thyristors, il s'agit de la valeur maximale de tension inverse de crête récurrente, ou de la valeur maximale de la tension de crête récurrente applicable entre anode et cathode à l'état bloqué on exprime la plus faible de ces deux valeurs.	La polarité dite normale, c'est-à-dire lorsque la cathode est reliée au boîtier n'est pas spécialement indiquée. Dans le cas de polarité inverse, c'est-à-dire lorsque l'anode est reliée au boîtier, on spécifie la lettre R.

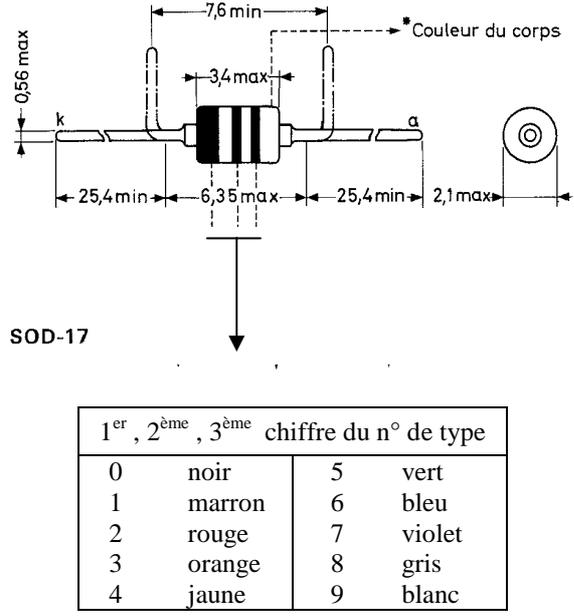
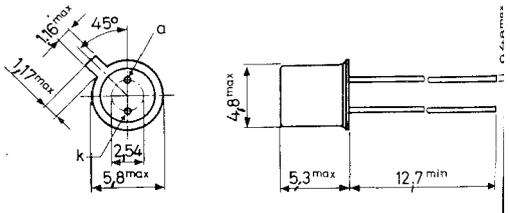
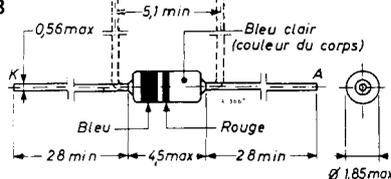
IV.4 Les différents boîtiers

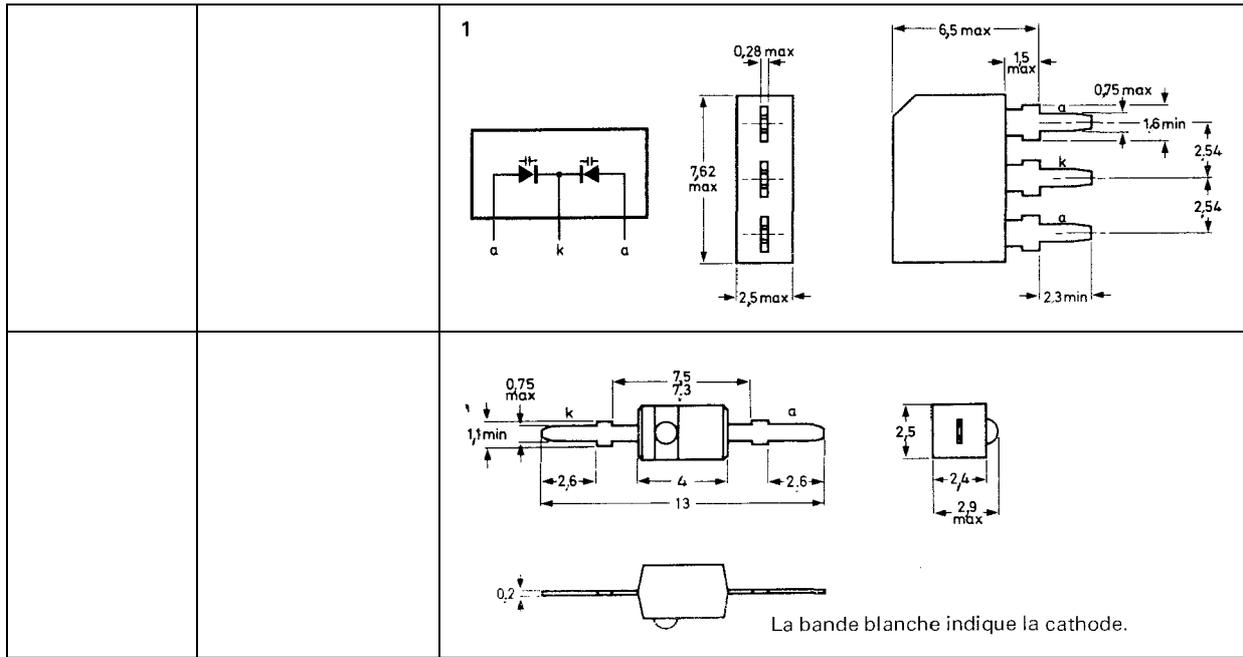
Ce chapitre apporte des précisions concernant les différents boîtiers pour les diodes en mentionnant leurs dimensions et donne un exemple de référence. Le tableau n'est pas exhaustif.

Référence du boîtier	Exemple	Boîtier
DO - 1		<p>DO-1</p> <p>DO-1</p>
DO - 4 (1)		<p>DO-4 (1)</p>
DO - 4 (2)		<p>DO-4 (2)</p>

DO - 5		<p>DO-5</p> <p>DO-5</p>
DO - 7		<p>DO-7</p>
DO - 14		<p>DO-14</p>
DO - 14		<p>DO-14</p>

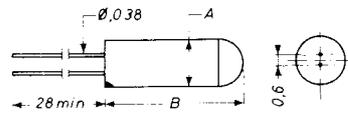
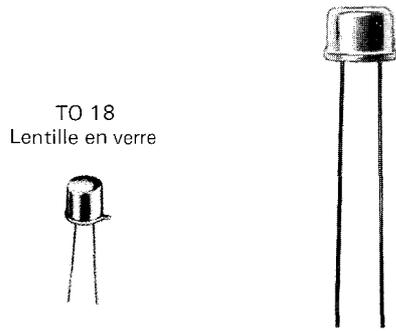
DO - 15		<p>DO-15</p>  <p>L'extrémité conique indique la cathode</p>																																		
DO - 23																																				
DO - 30		<p>DO-30</p> 																																		
DO - 35		 <p>DO-35</p> <table border="1" data-bbox="662 1444 1364 1646"> <thead> <tr> <th colspan="2">1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème} chiffre du n° de type</th> <th colspan="2">* couleur du corps</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>noir</td> <td>5</td> <td>vert</td> <td>BA</td> <td>beige</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>marron</td> <td>6</td> <td>bleu</td> <td>BAV</td> <td>vert clair</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>rouge</td> <td>7</td> <td>violet</td> <td>BAW</td> <td>bleu clair</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>orange</td> <td>8</td> <td>gris</td> <td>BAX</td> <td>noir</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>jaune</td> <td>9</td> <td>blanc</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>La cathode est repérée par l'anneau large</p>	1 ^{er} , 2 ^{ème} , 3 ^{ème} chiffre du n° de type		* couleur du corps		0	noir	5	vert	BA	beige	1	marron	6	bleu	BAV	vert clair	2	rouge	7	violet	BAW	bleu clair	3	orange	8	gris	BAX	noir	4	jaune	9	blanc		
1 ^{er} , 2 ^{ème} , 3 ^{ème} chiffre du n° de type		* couleur du corps																																		
0	noir	5	vert	BA	beige																															
1	marron	6	bleu	BAV	vert clair																															
2	rouge	7	violet	BAW	bleu clair																															
3	orange	8	gris	BAX	noir																															
4	jaune	9	blanc																																	

<p>SOD - 17</p>		 <p>SOD-17</p> <table border="1" data-bbox="794 607 1225 810"> <tr> <th colspan="4">1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème} chiffre du n° de type</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>noir</td> <td>5</td> <td>vert</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>marron</td> <td>6</td> <td>bleu</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>rouge</td> <td>7</td> <td>violet</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>orange</td> <td>8</td> <td>gris</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>jaune</td> <td>9</td> <td>blanc</td> </tr> </table> <p>La cathode est repérée par l'anneau large</p>	1 ^{er} , 2 ^{ème} , 3 ^{ème} chiffre du n° de type				0	noir	5	vert	1	marron	6	bleu	2	rouge	7	violet	3	orange	8	gris	4	jaune	9	blanc
1 ^{er} , 2 ^{ème} , 3 ^{ème} chiffre du n° de type																										
0	noir	5	vert																							
1	marron	6	bleu																							
2	rouge	7	violet																							
3	orange	8	gris																							
4	jaune	9	blanc																							
<p>SOD - 35</p>		<p>SOD-35</p> 																								
		<p>TO-18</p>  <p>Bande de couleur selon le Code I. E. A.</p>																								
<p>SOD21</p>		<p>SOD 21 Lentille en verre</p> 																								
<p>SOD24</p>		<p>SOD 24 Lentille en verre</p> 																								



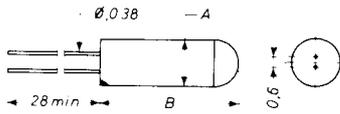
Boîtier TO 39 muni d'une
fenêtre plane en verre

TO 18
Lentille en verre

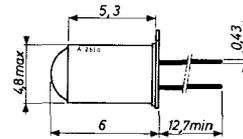
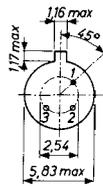


A	B
2,8	9,35

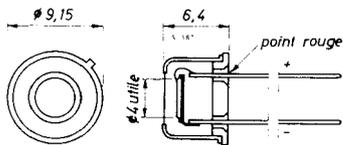
OAP 12



	A	B
BPX 68 BPY 68	2,8	9,35
BPX 69 BPY 69	2,1	9,29



BPY 77



BPY 13 BPY 13 A

IV.5 La diode de redressement

IV.5.1 Diode de redressement secteur

La diode de redressement de la tension du secteur (fréquence 50Hz) est utilisée dans les alimentations à basse de transformateur secteur ou à mettre en parallèle sur la bobine d'un relais.

Pour augmenter la puissance dissipée il est possible de laisser les fils de connexion un peu plus longs (quand ils existent).

Les diodes de redressement les plus connues sont la série 1N4001 à 1N4007 pour des courants d'intensité maximale de 1A et la série 1N5400 à 1N5408 pour des courants d'intensité maximale de 3A



Caractéristiques maximales de la série 1N4001 - 4007:

I_0 : courant moyen redressé : 1A

If (de pointe) : courant direct de pointe : 30 A pendant une demi alternance (10 ms \approx 8,3ms)

Pd : puissance totale dissipée : 6.25 W

Tension de crête inverse maximale admissible :

1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007
50V	100V	200V	400V	600V	800V	1000V



Caractéristiques maximales de la série 1N5400 :

I_0 : courant moyen redressé : 3A

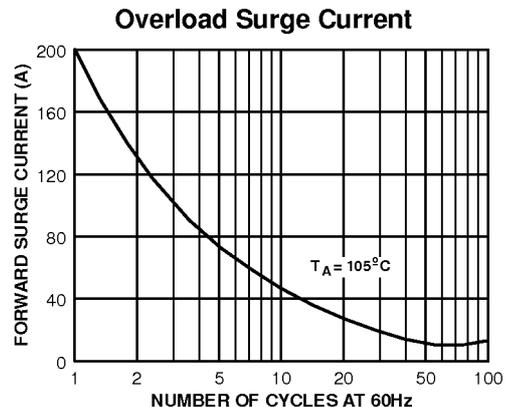
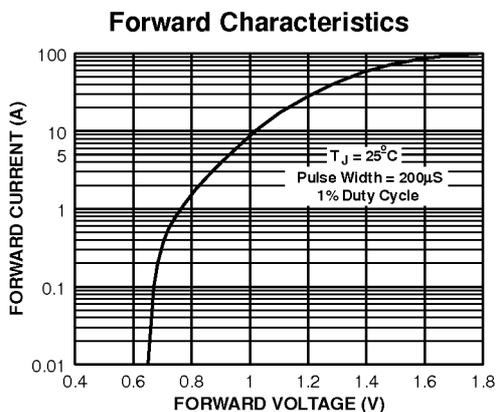
If (de pointe) : courant direct de pointe : 200 A pendant une demi alternance (10 ms \approx 8,3ms)

Pd : puissance totale dissipée : 6.25 W

Tension de crête inverse maximale admissible :

1N5400	1N5401	1N5402	1N5403	1N5404	1N5405	1N5406	1N5407	1N5408
50V	100V	200V	300V	400V	500V	600V	800V	1000V

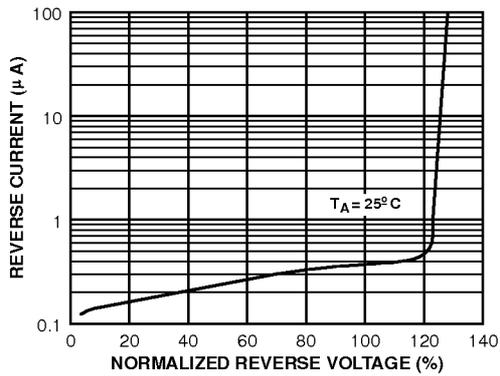
Courbes caractéristiques de la série 1N5400



Courant direct en fonction de la tension

Courant direct de pointe en fonction de la fréquence

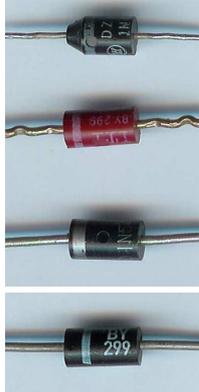
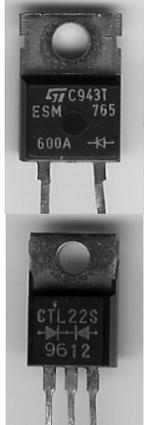
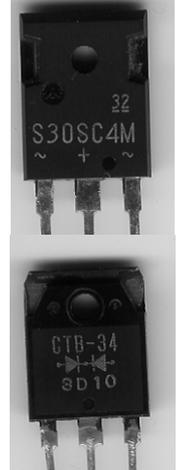
Reverse Characteristics



Courant inverse en fonction de la tension (très faible) intensité en micro-ampères

Pour une intensité, plus importante (5A à 100A), la diode est intégrée dans un boîtier permettant d'évacuer plus facilement la chaleur produite en la montant sur un radiateur (dissipateur thermique) : Boîtier DO220 5O220) ou boîtier métallique muni dans pas de vis (+boulon) DO4 ou DO5

Différents boîtiers

					
<p>Boîtier DO-41 Et minimelf</p>	<p>Boîtier DO-41</p>	<p>Boîtier Boîtier MR745</p>	<p>TO-220 diode simple et double</p>	<p>TO diode double</p>	<p>DO4 et DO5 Cathode ou anode reliée au pas de vis</p>

IV.5.2 Diode de redressement haute tension

Ce type de diode est utilisé pour le redressement de la haute tension est utilisée dans des dispositifs nécessitant une haute tension de l'ordre de quelques Kilovolts à plusieurs dizaines de kilovolts (ou même centaine). On la rencontre par exemple dans les appareils utilisant un tube cathodique comme le téléviseur et l'oscilloscope ; la très haute tension (THT) est de l'ordre de 10KV à 20KV avec une intensité très faible quelques micro-ampères (μA).

Exemple de diode THT



IV.5.3 Diode de redressement d'alimentation à découpage

Ce type de diode est utilisé dans les alimentations à découpage. Elle redresse des tensions qui sont comprises entre quelques volts et quelques centaines (ou mêmes milliers de volts) à des fréquences de quelques dizaines de Hertz jusqu'au mégahertz dans les alimentations à découpage récentes ayant un rendement important. La fréquence est un des éléments déterminants du choix de la diode et du temps de recouvrement de quelques dizaines de nanosecondes ($T_{rr} \approx 35\text{ns}$). Il ne faut surtout pas remplacer une diode d'alimentation à découpage par une diode de redressement secteur : ce qui provoquerait des dysfonctionnements, un mauvais rendement ou pire la destruction de l'alimentation.

Exemple de diodes :



IV.5.4 Diode de redressement de signaux hautes fréquences

Exemples de diodes de redressement hautes fréquences anciennes au Germanium



IV.5.5 Diode de redressement Hyperfréquence

IV.6 La diode de commutation

La diode de commutation ou de redressement rapide faible courant et d'utilisation générale est caractérisée par une capacité de diffusion faible autorisant des fréquences de travail élevées.

Caractéristiques d'une diode de commutation rapide très utilisée : 1N4148

Valeurs maximales :

VRRM : tension inverse de crête répétitive : 100 V

VR : tension inverse continue : 100 V

IF : 200 mA

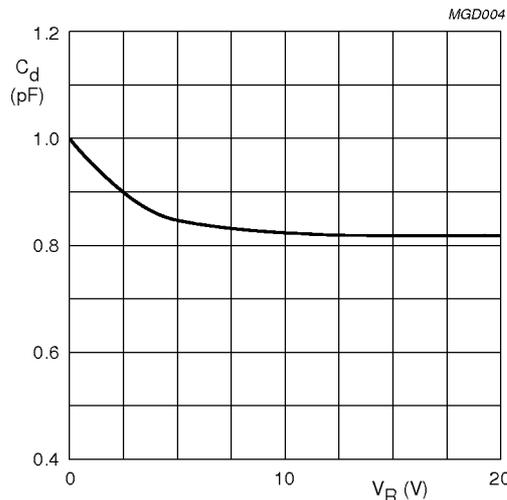
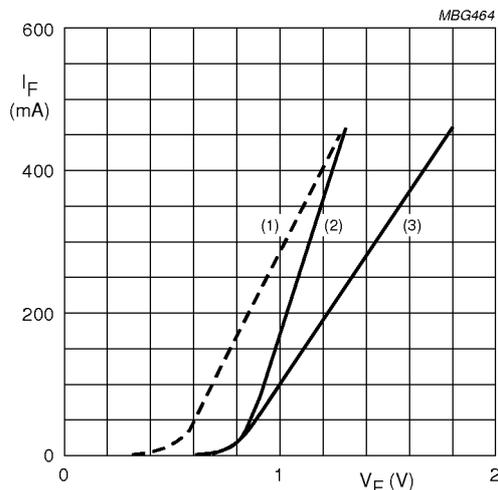
IFRM : courant direct de crête continu répétitif: 450 mA

IFSM : courant direct de crête continu non répétitif (onde carrée)

$t = 1/1s - 4 A$, $t = 1 ms - 1 A$, $t = 1 s - 0.5 A$

Ptot : puissance total dissipée à la température ambiante $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; 500 mW

Exemples de courbes caractéristiques de la diode 1N4148 (doc Philips)



Courant direct en fonction de la tension

Capacité de la diode en fonction de la tension

T° jonction (1) : 175° , (2) : 25° typique, (3) 25° maxi

IV.7 La diode électroluminescente DEL (LED)

La diode électroluminescente ou DEL (LED en Anglais (Light Emitting Diode)) est une diode dopée spécialement pour qu'elle émette un rayonnement de lumière visible ou non lorsqu'elle est traversée par un courant dans le sens direct.

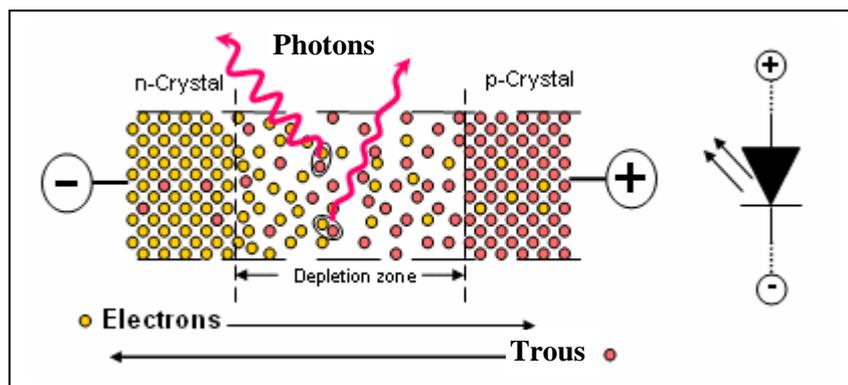
La tension directe d'environ 1,2V à 4,5V dépend des matériaux utilisés (couleur).

Elle se présente sous divers boîtiers (rond, triangulaire, rectangulaire ou CMS ou Bar-Graph, afficheurs 7 segments), dimensions (1mm, 3mm, 5mm, 10mm), couleurs et intensité de l'émission de lumière.

Remarque : la tension inverse que peut supporter une DEL est très faible, quelques volts (en général environ 5V ...).

Schéma théorique d'une diode DEL et sa représentation

L'émission de photons du rayonnement est due à la recombinaison d'une paire électron-trou dans la zone de déplétion.



Extrait de la documentation National Semiconductor

Caractéristiques d'une diode électroluminescente DEL :

- Couleur (longueur d'ondes en nano mètre),
- Taille et forme du boîtier : 1mm, 3mm, 5mm, ronde, triangulaire, rectangulaire, etc.
- Intensité lumineuse exprimée en milli candela (mcd),
- Angle de diffusion / éclairage,
- Tension de seuil et intensité du courant,
- Boîtier et brochage : 2 connexions ; en général la connexion la plus longue est l'anode.

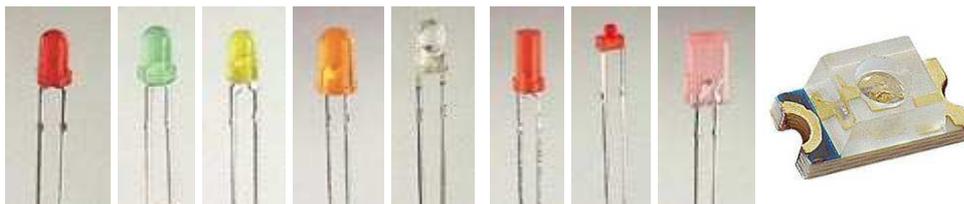
La tension de seuil de la diode DEL

C'est la tension à partir de laquelle la diode DEL émet des photons de lumière visible ou non (infrarouge et ultraviolet). La tension dans le sens direct dépend du courant qui la traverse.

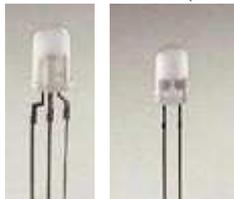
Dans le cas des DEL blanches, appelées à remplacer les ampoules d'éclairage à incandescences, le courant est proche de l'ampère et ce type de diode est montée sur un radiateur pour évacuer la chaleur.

Couleur	Longueur d'onde (en nm)	Tension de seuil
Blanc		3,5V
Bleu	450 - 500	2,5V à 2,8V
Infrarouge	>760	1,6V
Jaune	585 - 590	2,1V
Orange	600 - 620	2V
Rouge	625 - 655	1,6V à 2V
Ultraviolet	<400	3,1V
Vert	525 - 565	2,1V à 2,5V
Violet	400 - 450	2,7V à 3,1V

Divers boîtiers et couleurs



Led Bicolore (vert, rouge) : 3 connexions (# 2 Del) ou 2 connexions (inversion de courant)



IV.8 La diode GUN

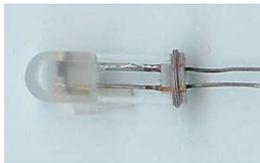
Ce type de diode est utilisé dans le domaine de la supra haute fréquence. La diode GUN n'est pas constituée comme une diode classique de 2 régions semi-conductrices : l'une dopée N et l'autre dopée P mais de trois régions. Les 2 régions raccordées aux connexions extérieures sont fortement dopées N^{+++} tandis que la région centrale, très fine, est faiblement dopée N. L'Arséniure de Gallium (semi-conducteur) est largement utilisé pour la diode GUN.

L'effet GUN fait apparaître une zone de résistance dynamique négative mise à profit dans les oscillateurs Supra haute fréquence ($\approx 10\text{GHz}$) en injectant un courant d'une intensité convenable.

IV.9 La diode Laser

IV.10 La photodiode

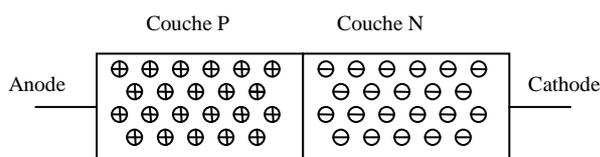
Ce type de diode est utilisé lorsqu'on a besoin de détecter une intensité lumineuse. Le courant qui traverse la diode est fonction de l'intensité lumineuse.



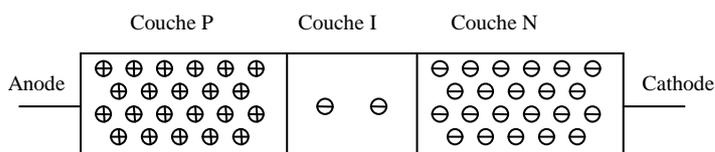
IV.11 La diode Pin

Une diode PIN est une diode qui contient entre ses zones de jonction de type P et de type N une zone quasi intrinsèque (type « I » d'où le nom de diode P-I-N). Cette zone intrinsèque est non dopée (ou très faiblement) et contient la zone de déplétion de la jonction PN.

Diode normale



Diode PIN



La diode PIN polarisée :

- en inverse, présente des capacités extrêmement faibles et des tensions de claquage élevées,

- en direct, la zone de type « I » augmente la résistance interne qui dépend du nombre de porteurs et diminue quand le courant augmente. On obtient ainsi une résistance (alternative) variable contrôlée par une intensité (continue).

Cette diode peut être utilisée en :

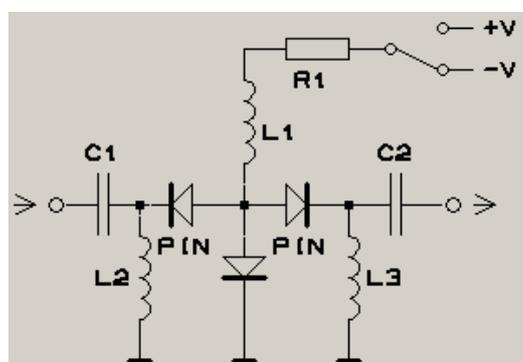
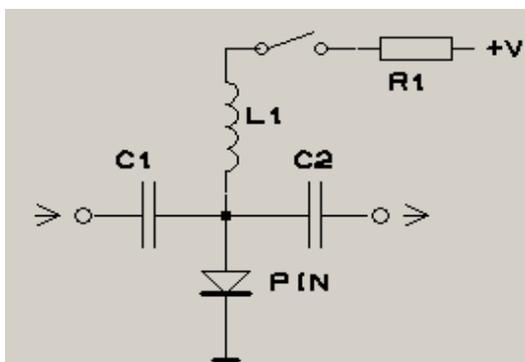
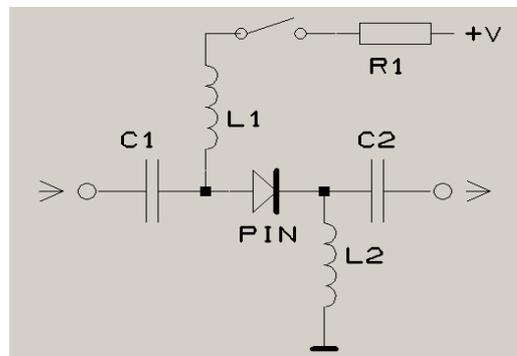
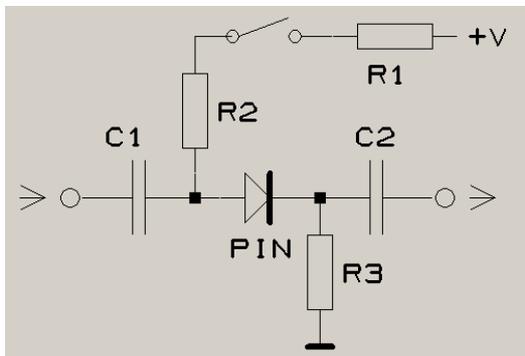
- redressement de fortes tensions,
- commutation HF, UHF (faible capacité inverse),
- atténuateur variable (contrôlé par un courant de commande continu).

La diode PIN permet d'obtenir des isolations entre les 2 états de l'ordre 40db (et plus).

Exemples d'une diode PIN en commutation HF

R1, R2 et R3 (ou R1, L1 et L2 (bobines de choc)) permettent de polariser la diode PIN en direct ou non.

La diode PIN peut être montée en série ou en parallèle par rapport au signal à commuter.



IV.12 La diode régulatrice de courant

Ce type de diode, comme son nom l'indique, régule l'intensité du courant qui la traverse quelque soit la tension à ses bornes (dans certaines limites). L'effet de champ est mis à profit dans ce type de diode. Pour obtenir une intensité plus importante, il est possible de monter plusieurs diodes en parallèle

Exemple : diode référence 1N5294 Intensité : 0,39mA



1N5283 through 1N5314

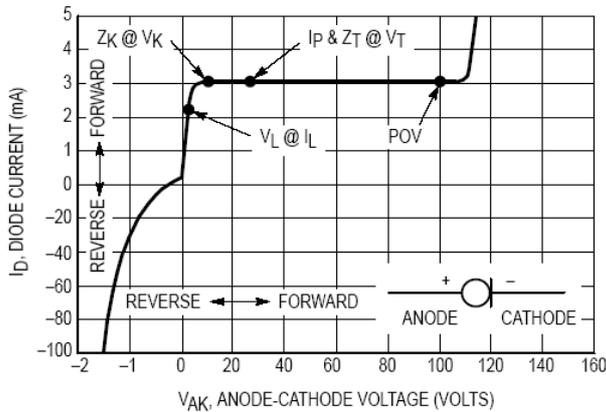


Figure 1. Typical Current Regulator Characteristics

SYMBOLS AND DEFINITIONS

- I_D — Diode Current.
- I_L — Limiting Current: 80% of I_P minimum used to determine Limiting voltage, V_L .
- I_P — Pinch-off Current: Regulator current at specified Test Voltage, V_T .
- POV — Peak Operating Voltage: Maximum voltage to be applied to device.
- θ_I — Current Temperature Coefficient.
- V_{AK} — Anode-to-cathode Voltage.
- V_K — Knee Impedance Test Voltage: Specified voltage used to establish Knee Impedance, Z_K .
- V_L — Limiting Voltage: Measured at I_L , V_L , together with Knee AC Impedance, Z_K , indicates the Knee characteristics of the device.
- V_T — Test Voltage: Voltage at which I_P and Z_T are specified.
- Z_K — Knee AC Impedance at Test Voltage: To test for Z_K , a 90 Hz signal V_K with RMS value equal to 10% of test voltage, V_K , is superimposed on V_K :

$$Z_K = V_K / i_K$$
 where i_K is the resultant ac current due to V_K .
 To provide the most constant current from the diode, Z_K should be as high as possible; therefore, a minimum value of Z_K is specified.

W)

Extrait de la documentation Motorola

Sur une plage de tension (5V à 100V) l'intensité du courant reste constante.

Remarque : il existe des circuits intégrés qui effectue la même fonction.

IV.13 La diode Schottky

La diode Schottky est une diode caractérisée par une tension de seuil directe plus faible que la diode standard et un temps de commutation très court. Cette caractéristique la prédestine à la détection de signaux faibles en hautes fréquences et hyperfréquences. Elle est aussi utilisée pour le redressement de tensions alternatives dans les alimentations pour améliorer le rendement en diminuant les pertes dans les diodes (redressement de puissance). Elle est constituée d'une jonction métal - semi-conducteur (au lieu d'une jonction PN comme dans le cas des diodes standard). Cela rappelle les premières diodes au germanium qui avait une pointe en acier en contact direct avec le cristal (diode à pointe). La diode Schottky est beaucoup plus rapide que la diode à jonction PN du fait de l'absence de capacité de diffusion.

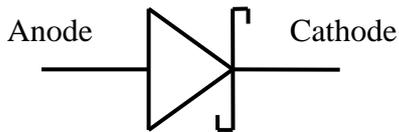
La diode Schottky a une tension de seuil directe entre 0,15V à 0,45 V (pour un courant d'environ 1 mA), à comparer avec celle de la diode standard en silicium d'environ 0.6 volt (voir les courbes ci-dessous). Cette propriété est utilisée pour limiter la tension et la saturation des transistors et ainsi augmenter la fréquence de travail (mis à profit dans la série des circuits intégrés TTL Low Power Schottky 74LS00, ou 74S00, ...). Elle est aussi utilisée dans les mélangeurs en radio.

La variation de la tension de seuil directe en fonction de la température est plus faible que dans le cas de la diode PN.

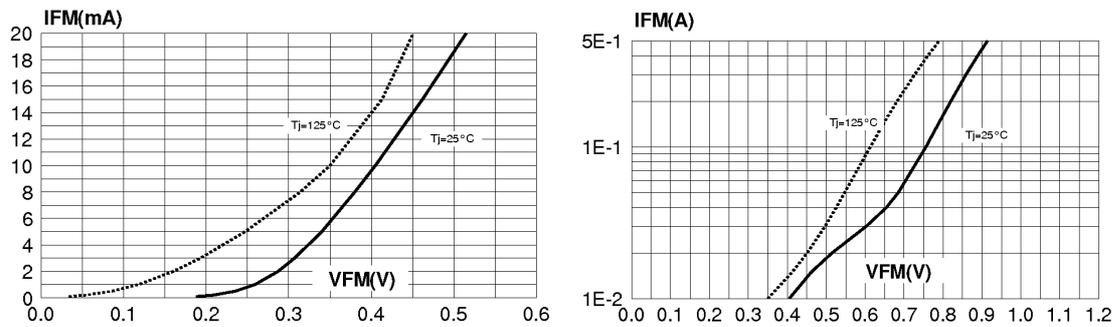
Dans le sens inverse, le courant inverse est plus important que celui de la diode PN et fonction de la tension inverse.

Remarque : elle porte le nom d'un physicien Allemand Walter H. Schottky.

Symbole de la diode Schottky



Courbes de la tension de seuil par rapport au courant (sens direct) pour une diode BAT46



Exemple de boîtiers de diode Schottky

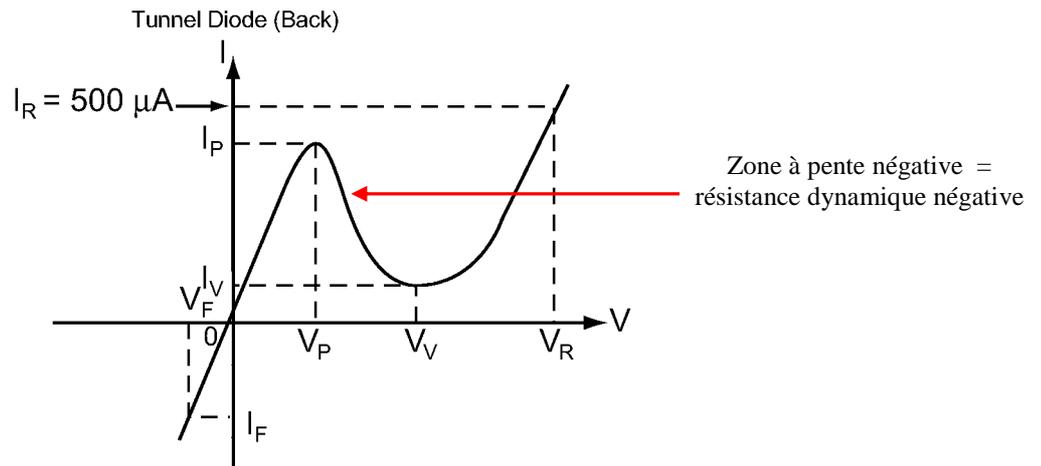
DO-35	Minimelf		Puissance	Puissance

IV.14 La diode Tunnel

Dans une diode tunnel, le dopage des couches N et P est plus important qu'une diode standard ainsi la barrière de potentiel est d'une valeur différente ce qui produit un comportement différent.

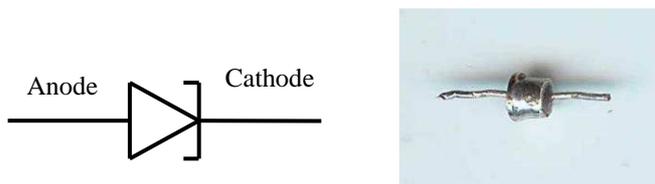
En sens inverse, la diode conduit.

En sens direct, l'effet tunnel apparaît et à partir d'une certaine tension on observe une décroissance de l'intensité ce qui correspond à une résistance négative « virtuelle ».



Courbe caractéristique d'une diode tunnel

Symbole d'une diode tunnel et exemple



Utilisation : la caractéristique « résistance dynamique négative » est mise à profit dans les oscillateurs hautes fréquences et dans les montages où le temps de commutation très court est primordial (plusieurs gigahertz).

IV.15 La diode Varicap

La diode varicap (de l'anglais **variable capacity**) est une diode utilisée comme condensateur variable lorsqu'elle est polarisée en sens inverse. Sa capacité varie en fonction de la tension inverse (mais pas de manière linéaire, inversement proportionnelle à la racine carrée de la tension). Elle est due à la largeur de la zone de déplétion (c'est équivalent à écarter plus ou moins les armatures d'un condensateur standard). La non linéarité est mise à profit pour générer des harmoniques.

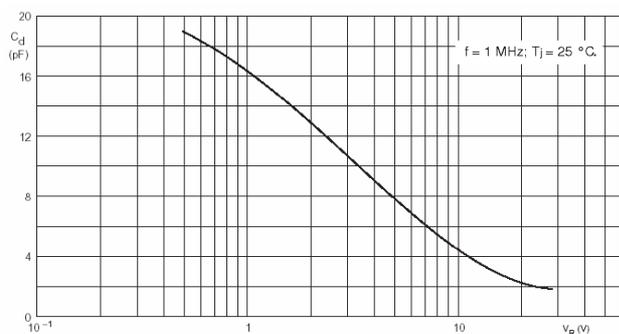
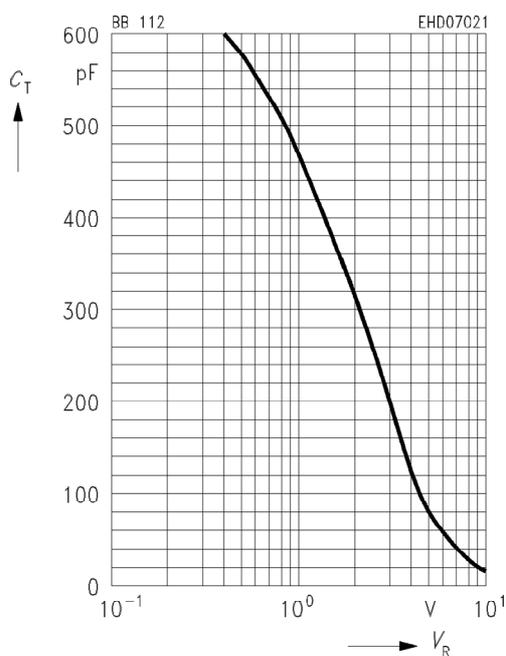
Remarque : toutes les diodes présente plus ou moins ce phénomène.

Symbole de la diode Varicap



La diode Varicap est utilisée dans les circuits d'accord des récepteurs radios pour faire varier la capacité d'un circuit d'accord de l'étage d'entrée ou de l'oscillateur local (VCO (oscillateurs commandé en tension) et donc la fréquence de résonance, en changeant la tension inverse de commande appliquée sur la diode. Par rapport à un condensateur variable, les avantages sont le gain de place et le coût, par contre parmi les inconvénients il faut disposer d'une tension inverse souvent importante (20V à 30V).

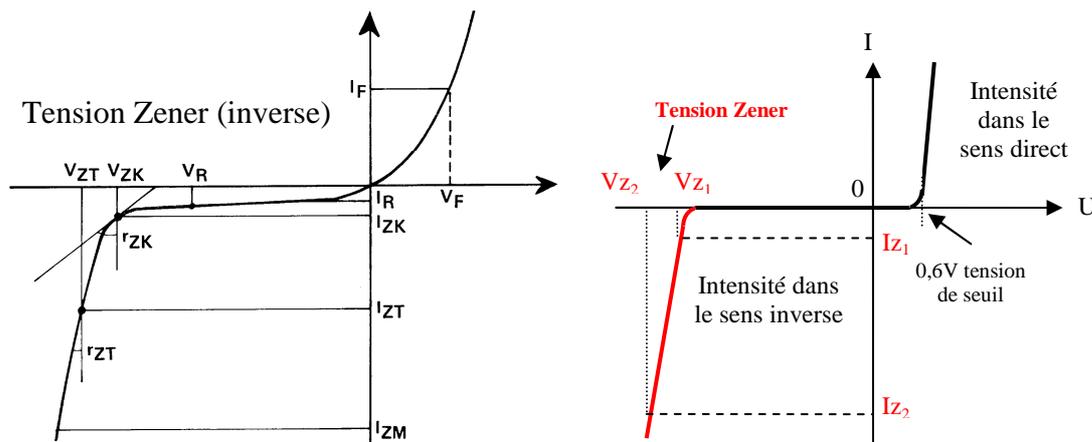
Courbes de variation de la capacité en fonction de la tension inverse pour 2 diodes Varicap (BB112 pour AM et BB135 pour VHF)



IV.16 La diode Zener

La **diode Zener** est une diode fabriquée spécialement pour supporter une tension inverse qui peut être importante jusqu'à sa tension de claquage ou tension d'avalanche (tension Zener). A partir de cette tension, la résistance de la diode devient très faible. Cet état peut être réversible (diode Zener) ou irréversible (destruction ou claquage d'une diode de redressement). La tension Zener est la caractéristique principale de ce type composant qui a été mise en évidence par le physicien américain Clarence Zener.

Courbe caractéristique d'une diode Zener (l'échelle des courants direct et inverse n'est pas respecté):



- V_{ZT} : Tension de régulation à un courant donné (I_{ZT}),
- I_{ZT} : Courant de contrôle de la tension de régulation (V_{ZT}),
- r_{ZT} : Résistance différentielle mesurée pour le courant I_{ZT} ,
- I_{ZK} : Courant de régulation dans la région du coude,
- r_{ZK} : Résistance différentielle pour le courant I_{ZK} ,
- $CI \cdot V_Z$: Coefficient de température de la tension de régulation,
- I_R : Courant inverse à la tension spécifiée V_R ,
- V_R : Tension inverse inférieure à la tension de régulation,
- I_{ZM} : Valeur limite maximale du courant de régulation,
- I_{ZSM} : Courant inverse de pointe de surcharge non répétitif,

La résistance différentielle (dynamique) est donnée par la formule :

$$r_{zk} = \frac{V_{z2} - V_{z1}}{I_{z2} - I_{z1}}$$

Les principales caractéristiques d'une diode zener sont :

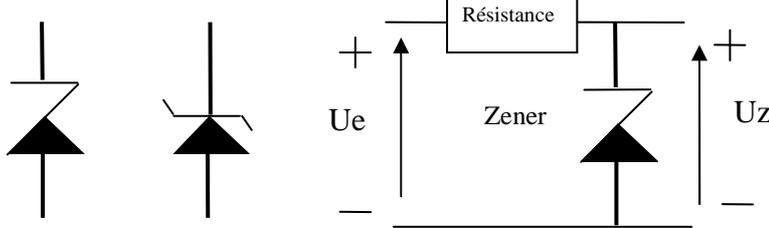
- La tension zener (de 1,2 V à plus de 200V)
- La précision sur la tension,
- La puissance maximale,
- Le coefficient thermique,
- La résistance dynamique,
- Le boîtier.

Remarques :

- la diode Zener ayant le meilleur coefficient de température se situe vers 6,2V.
- la diode Zener est utilisée comme tension de référence dans les alimentations stabilisées. Elle permet également la protection en surtension, toutefois la diode transil lui est largement supérieure en puissance absorbable.

Symbole de la diode Zener

Cathode à mettre du côté +



Anode à mettre du côté -

Diode compensée en température

Pour diminuer l'influence de la température sur la tension Zener, certaines diodes sont compensées en température. Elles sont plus onéreuses.

Une méthode simple est de monter en série une diode dans le sens direct.

La diode Zener programmable et de référence

La diode Zener programmable est une diode à trois connexions extérieures. Une des connexions est utilisée pour ajuster la tension Zener à la valeur désirée dans la plage indiquée par le fabricant. A proprement parlé ce n'est pas une diode Zener mais plutôt un circuit intégré. Une des plus connues est la référence TL431 de Texas Instrument.

Tension de sortie programmable de 2,5V à 36V

Impédance de sortie dynamique 0,2 Ω

Courant drainé de 1.0 to 100mA

Coefficient de Température : 50ppm/°C Typique

Tension de bruit de sortie faible

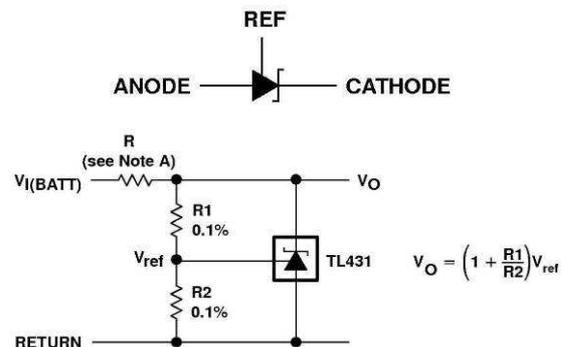
Divers boîtiers

TO-92

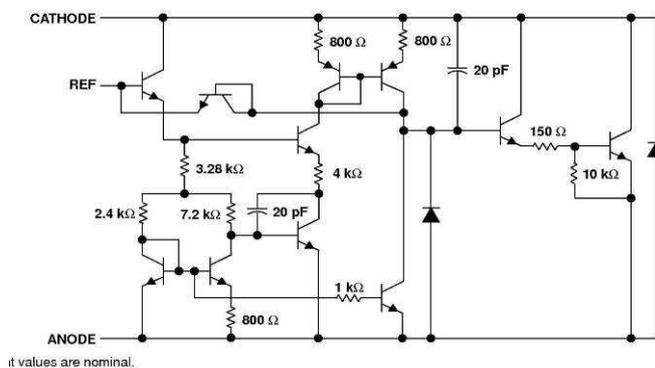


1. Ref 2. Anode 3. Cathode **TL431**

Symbole et schéma d'application



schematic†

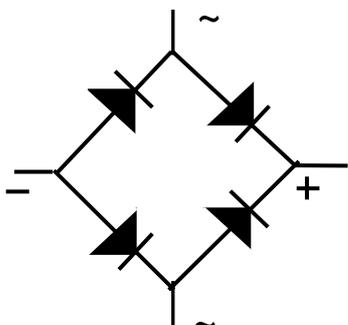


† values are nominal.



IV.17 Le pont de diodes

Le pont de diodes est en général constitué de 4 diodes reliées entre elles pour former un pont de Graëtz et moulées dans un boîtier de formes diverses et de tailles adaptées à la puissance à dissiper ou à la tension inverse à supporter.

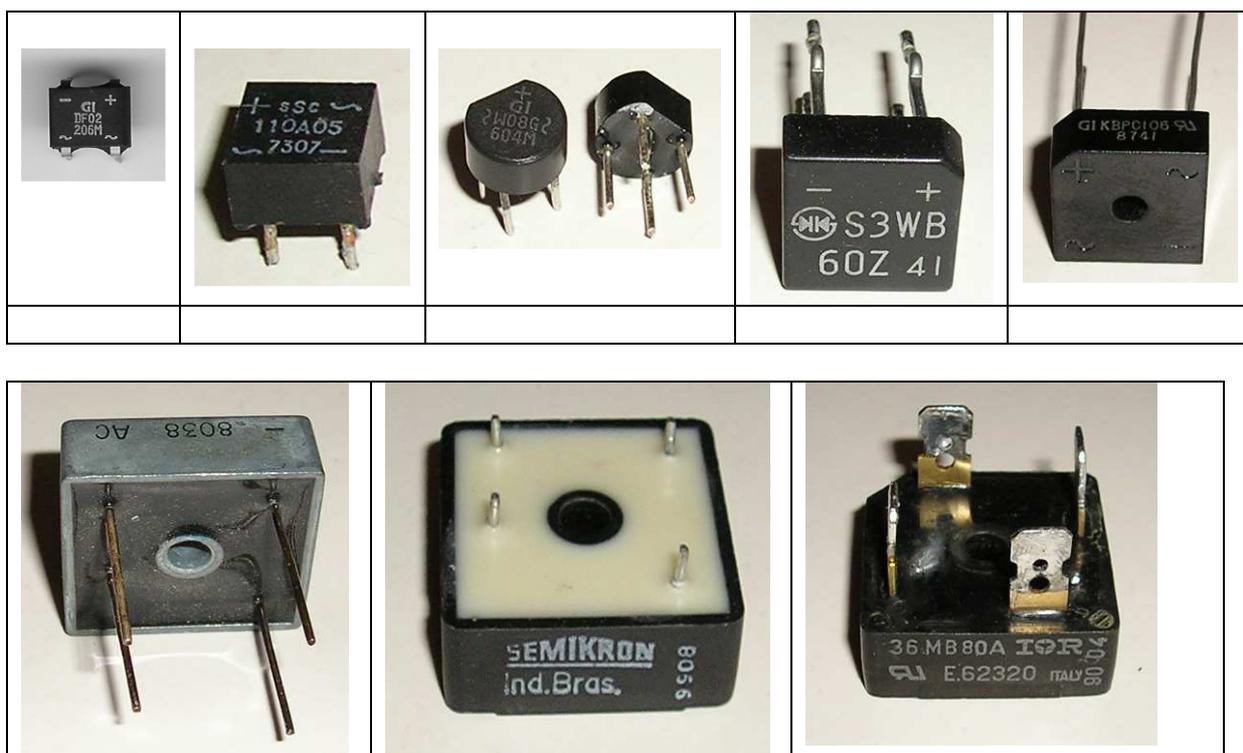


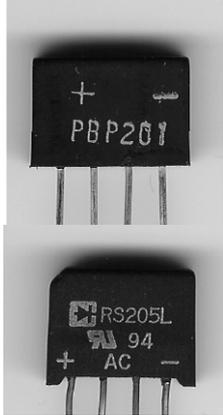
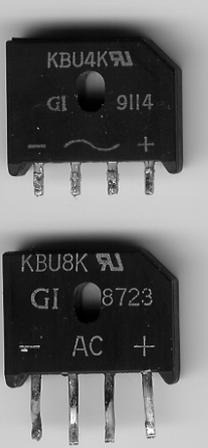
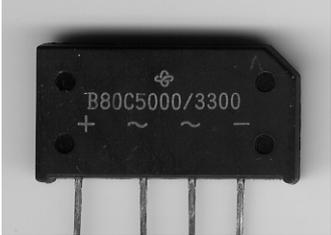
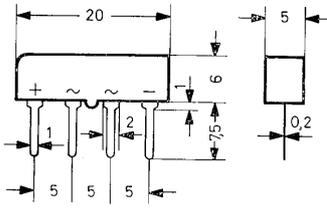
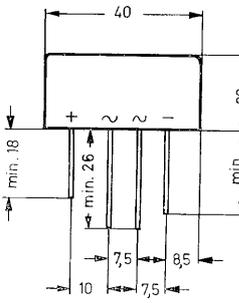
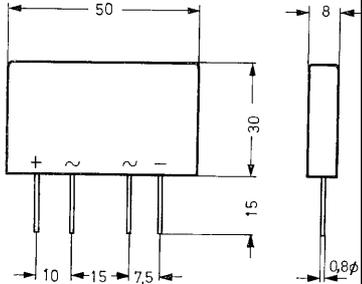
L'intensité du courant redressé par un pont de diodes varie de quelques centaines de milliampères à plusieurs centaines d'ampères.

Le boîtier dispose de 4 connexions extérieures :

- 2 marquées du signe ~ **ou** AC (Alternative Current) (entrée de la tension alternative à redresser)
- 1 marquée + (borne positive de la tension de sortie redressée),
- 1 marquée - (borne négative de la tension de sortie redressée).

Exemple de boîtiers



			
 <p>Dimensions en mm</p>			

IV.18 La mesure d'une diode – vérification

La vérification du « bon » fonctionnement d'une diode peut s'effectuer à l'aide d'un simple multimètre analogique (de préférence) ou numérique. Pour des mesures plus complètes, l'utilisation d'un diodemètre/transistormètre ou d'un traceur de courbes peut s'avérer plus efficace.

Avec la fonction ohmmètre d'un multimètre analogique: la diode ne laissant passer le courant que dans un sens et pas dans l'autre, il suffit donc de mesurer sa résistance entre ses 2 connexions externes dans un sens puis dans l'autre. Cette procédure permet de repérer l'anode et la cathode de la diode si l'anneau ou le repère indiquant la cathode n'est pas visible. Lorsqu'on relie l'anode au + de l'ohmmètre (fil rouge) et la cathode au – (fil noir) la diode est polarisée en directe et sa résistance est faible, de 10Ω à $1K\Omega$ suivant la diode et l'ohmmètre (tension de la pile utilisée). Dans le sens inverse, la résistance est beaucoup plus forte, soit infinie pour la majorité des diodes au silicium et de l'ordre de quelques $100K\Omega$ pour des diodes au Germanium ou certaines diodes Zener ayant une tension zener faible.

Avec la fonction diode mètre d'un multimètre numérique

Mettre le commutateur du multimètre numérique sur la fonction diodemètre (repéré par une diode). Relier le fil rouge à l'anode et le fil noir à la cathode pour vérifier le passage du courant dans le sens direct, la résistance est de l'ordre de 10Ω à $1K\Omega$. En sens inverse, la valeur lue doit être de 1 (clignotant), indiquant une résistance infinie (très grande).

Remarque : la fonction ohmmètre ne permet pas d'effectuer des mesures correctes.

Avec un diodemètre/transistormètre :



Diode 1N4004 (silicium), repérage automatique de l'anode et de la cathode et mesure du courant dans le sens direct, ici $U_d = V_{fl} = 0,82 \text{ V}$ pour $I = 9,6 \text{ mA}$ puis mesure dans le sens inverse et à différentes tensions.



Diode OA90 (Germanium), repérage automatique de l'anode et de la cathode et mesure du courant dans le sens inverse, ici $I_r = 2,3 \mu\text{A}$ pour $U_r = 4,77 \text{ V}$
Le courant de fuite d'une diode Germanium en inverse n'est pas négligeable par rapport à celui d'une diode au silicium.

V Le quartz

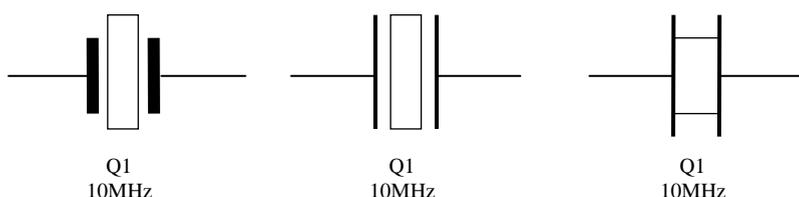
V.1 Généralités

Le quartz est un composant passif composé d'une lame de quartz qui est, en général, scellée hermétiquement dans un boîtier avec au moins 2 connexions externes. La lame est découpée dans le cristal de quartz suivant un axe de découpe très précis et avec des dimensions (surtout l'épaisseur) définissant sa fréquence de vibration. La lame est recouverte sur ses 2 cotés opposés, d'un métal très conducteur collé ou déposé par métallisation sous vide et qui servent d'électrodes reliées aux 2 connexions extérieures (voir les photos ci-dessous).

Le quartz est constitué de silice (SiO_2) cristallisé dans un système hexagonal. Il est assez répandu dans la nature mais relativement rare avec un degré de pureté suffisant pour son utilisation en électronique.

Le cristal de quartz utilisé en électronique est en général un produit de synthèse obtenu au cours d'un processus industriel assez lent (jusqu'à plusieurs mois) pour obtenir les caractéristiques désirées (pureté, etc..).

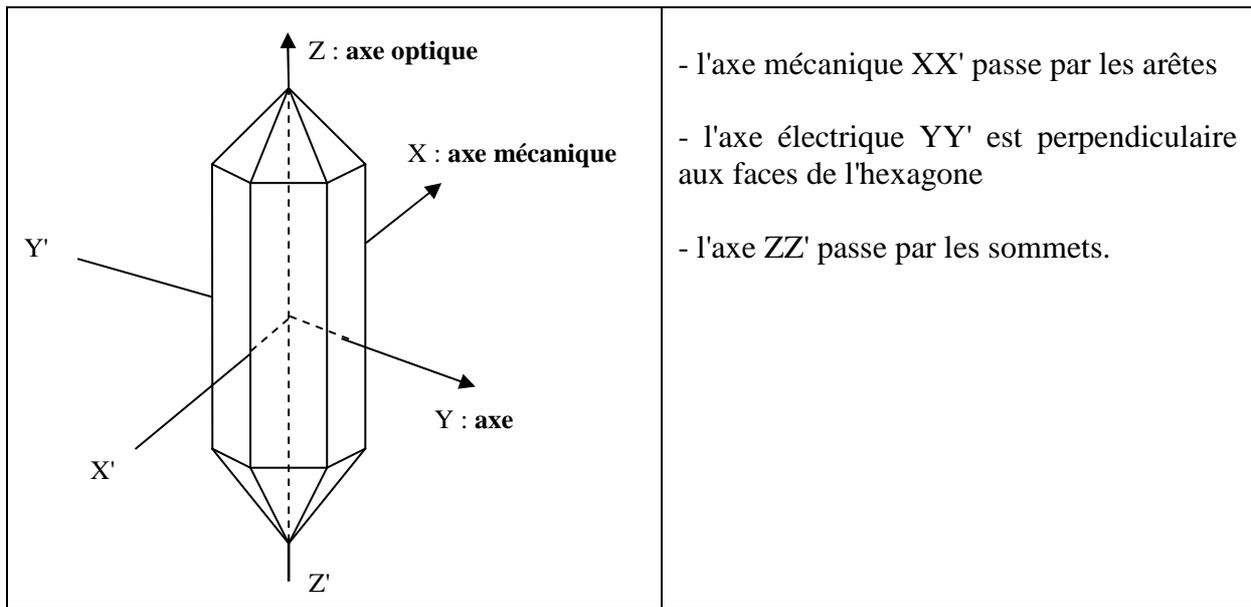
La représentation du composant "Quartz" dans un schéma peut prendre les formes suivantes :
(Une lame de quartz entre 2 électrodes et en dessous la lettre Q ou Y suivi de la fréquence)



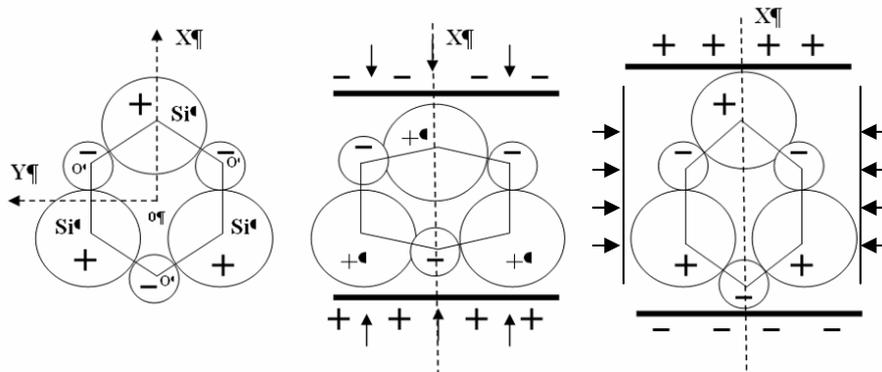
Exemples de quartz avec le boîtier ouvert

<p>Ancien quartz démonté, fréquence de 4535 KC = 4,535 MHz. La lame est prise en sandwich entre 2 plaques métalliques qui sont en contact uniquement aux 4 coins de la lame. Un ressort assure le contact entre la lame et les 2 plaques métalliques.</p>	<p>Fréquence : 1 MHz, la lame de quartz est ronde, plus épaisse au centre que sur le bord.</p>	<p>Ancien quartz en tube de verre d'une fréquence de 113,100KCS = 113,1 kHz</p>

La structure cristalline du quartz comporte trois axes de symétrie. :



Le quartz est surtout utilisé en électronique pour sa propriété piézoélectrique. Si on applique une force mécanique parallèlement à l'axe mécanique XX', il apparaît une polarisation électrique parallèlement à l'axe électrique YY'. La réciproque est vraie.



Structure simplifiée d'une lame de quartz, si on exerce une pression, il y a alors apparition d'un champ électrique (différence de position des atomes de Si et O).

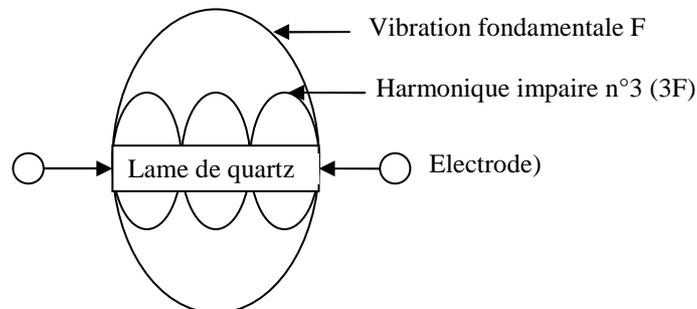
L'impédance de la lame de quartz, munie de ses 2 électrodes, varie brusquement aux alentours des fréquences d'oscillations mécaniques de la lame qui dépendent entre autres de ses dimensions.

Cette propriété est mise à profit dans les oscillateurs de précision.

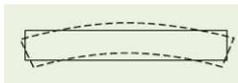
Remarque : d'autres matériaux présentent aussi cette propriété Piézoélectrique : le niobate ou le tantale de lithium, l'oxyde de germanium-bismuth, la céramique Plomb-Zinc-Tantale (PZT) et certains polymères après un traitement adéquat.

Les modes de vibration

Les modes de vibration les plus employés dans l'électronique sont les vibrations de flexion et de cisaillement. La vibration est soit de type fondamentale (f) soit de type harmonique impaire (3f, 5f, 7f, ...).



Les **vibrations de flexion** sont mises à profit dans la réalisation de résonateurs basses fréquences (1 à 40 kHz) mais avec un inconvénient sur la précision de la fréquence qui est en général faible.



Extrait de la documentation Jauch GmbH

Les vibrations d'extension :



Les **vibrations par cisaillement** d'épaisseur sont les plus utilisées, les fréquences en oscillation fondamentale varient de 100 kHz à 70 MHz.

Mode de vibration par cisaillement de face Extrait de la documentation Jauch GmbH	Mode de vibration par cisaillement d'épaisseur Extrait de la documentation Jauch GmbH

Les coupes pour les vibrations de cisaillement

La coupe de la lame de quartz peut s'effectuer selon plusieurs modes :

- la coupe DT (fréquence de 100 kHz à 1 Mhz)
- la coupe AT (fréquence de 1 à 70 Mhz en fondamentale). La coupe AT est la plus utilisée, la lame de quartz est découpée parallèlement à un plan contenant l'axe XX' fait un angle de 35° avec l'axe ZZ'. Cet angle est très précis
- autres coupes : BT, CT, NT, GT, SC, XT.

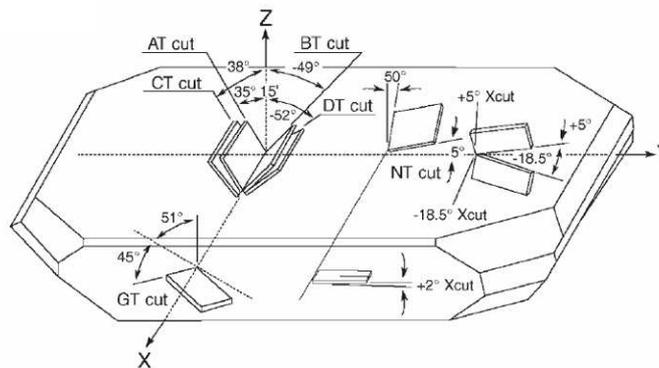
La limite haute de la fréquence fondamentale se situe vers 30 Mhz car l'épaisseur de la lame devient de plus en plus fine en fonction de l'augmentation de la fréquence et elle risque de se briser facilement sous des contraintes mécaniques. Certains fabricants peuvent fournir des quartz ayant une fréquence fondamentale jusqu'à 70 MHz.

Pour des fréquences supérieures, on utilise le mode de vibration harmonique impaire (ou partiel ou overtone en Anglais).

La précision sur la fréquence donnée par le constructeur est très élevée : quelques parties par million (de 2 à 100 ppm, soit de 2Hz à 100 Hz pour un quartz de 1 MHz).

La coupe est importante pour minimiser les effets de la température.

Voir ci-après, les différentes coupes d'un cristal de Quartz :

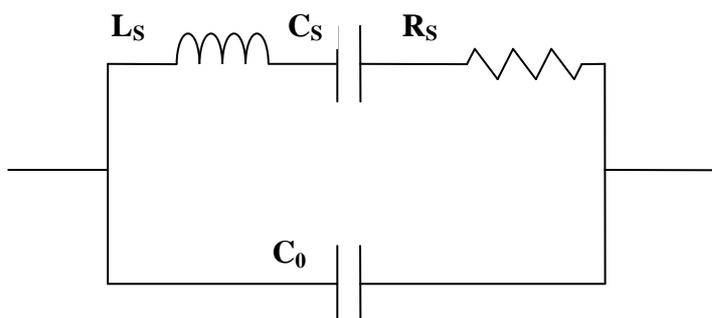


Angles de coupe (Extrait d'un document FOXElectronics)

Sur le schéma ci-dessus, on peut voir que les angles de coupe sont très précis.

V.2 Schéma équivalent

Le schéma ci-dessous permet de représenter électriquement le fonctionnement de la lame de quartz reliée par ses 2 électrodes. Les éléments L_s , C_s et R_s n'existent pas réellement et ils sont présents pour simuler électriquement le comportement de la lame de quartz.



L_s : inductance représentant la masse de la lame de quartz,

C_s : capacité représentant la rigidité de la lame,

R_s : représente les pertes électriques lors des oscillations de la lame,

C_0 : la capacité des électrodes placées d'un coté et de l'autre de la lame.

Ordre de grandeur des éléments ci-dessus :

Fréquence de résonance	Ls (en H)	Cs (en pF)	Rs (en Ω)	C ₀ (en pF)	Facteur Q
32,768 kHz	7860	0,003	32 000	1,5	50 000
100 kHz	50	0,050	400	8	80 000
200 kHz	27	0,024	2 000	10	100 000
1 MHz	4	0,006	240	3	110 000
10 MHz	0,01	0,030	5	8	100 000

La résistance R_S varie suivant la coupe :

- DT : 1 k Ω à 5 k Ω

- AT : ~ 30 Ω mode fondamentale et de 50 Ω à 200 Ω mode harmonique.

A la lecture des valeurs ci-dessus, on se rend compte que ces valeurs ne pourraient être obtenues par des bobines et condensateurs classiques (même au format CMS).

Le facteur de qualité Q peut atteindre une valeur de 100 000 à 1 000 000, il est à comparer à celui d'un réseau LC classique (quelques centaines). Ce facteur de qualité diminue lorsque le quartz est inséré dans un montage.

Exemple de données constructeur pour des quartzs en boîtier HC-49/U (extrait de la documentation Jauch GmbH)

Informations générales

Type	Boîtier (HC49/U) Fréquence de vibration Fondamentale ou Harmonique et type de coupe
Gamme de fréquences	0,92160 – 1,00MHz (Fond., SL)
	1,8432 – 40,0 MHz (Fond., AT)
	20,0 – 105,0 MHz (3 ^{ème} , AT)
	50,0 – 175,0 MHz (5 ^{ème} , AT)
	70,0 – 250,0 MHz (5 ^{ème} , AT)
Tolérance fréquence à 25°C	± 3 ppm à ± 50 ppm
Capacité de charge Cl	8 pF à 32 pF ou série
Capacité parallèle C₀	< 7 pF
Puissance maximale	1,0 mW
Vieillessement (Aging)	< ± 5 ppm la 1 ^{ère} année

Résistance Série Rs (en Anglais ESR)

Fréquence en MHz	Mode de vibration et coupe	ESR max. en Ω	ESR type en Ω
0,92 - 1,000	Fond., SL	3000	800
1,8432	Fond., AT	800	400
2,00 – 2,999	Fond., AT	400	200
3,00 -3,4999	Fond., AT	150	50
3,57 – 6,999	Fond., AT	60	20
7,00 – 12,999	Fond., AT	30	15
13,0 – 40,000	Fond., AT	20	10
20,0 – 29,999	3 ^{ème} , AT	80	35
30,0 – 105,00	3 ^{ème} , AT	60	30
50,0 – 175,00	5 ^{ème} , AT	150	70

V.2.1 Les résonances série et parallèle

A la vue du schéma équivalent on se rend compte que l'on a l'équivalent d'un circuit :

- LC **série** classique constitué des éléments de la branche du dessus L_s, C_s, (amorti par la résistance R_s)
- LC **parallèle** classique (bouchon) constitué des éléments L_s, Ceq (équivalent à la mise en série des condensateurs C_s et C₀). Vu les valeurs de C_s et C₀ (voir ci-

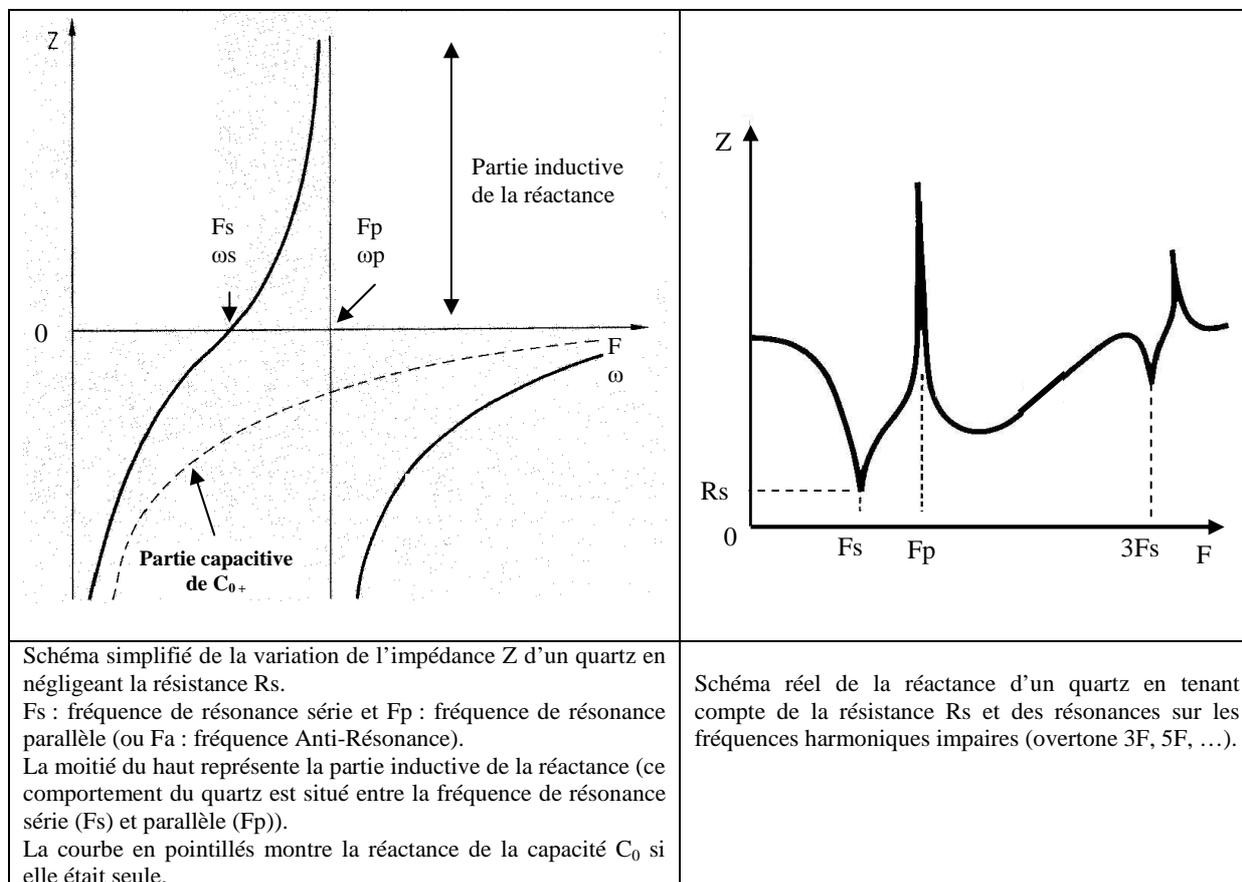
dessus l'ordre de grandeur), la capacité C_{eq} est presque égale à C_0 (amortie par la résistance R_s).

Remarque : la fréquence de résonance du circuit parallèle est toujours très légèrement supérieure à celle du circuit série.

Tableau récapitulatif

Fréquence de résonance série	$F_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s * C_s}}$
Fréquence de résonance Parallèle	$F_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s * C_{eq}}}$
Avec C_{eq} (équivalent)	$C_{eq} = \frac{C_s * C_0}{C_s * C_0}$
Facteur de qualité	$Q = \frac{2\pi * F_s * L_s}{R_s} = \frac{1}{2\pi * F_s * C_s * R_s}$
Ratio des capacités	$R_t = \frac{C_0}{C_s}$
Figure de mérite	$M = \frac{Q}{R} = \frac{1}{2\pi * F_s * C_0 * R_s}$

V.2.2 Schémas de la variation de la réactance (impédance) d'un quartz



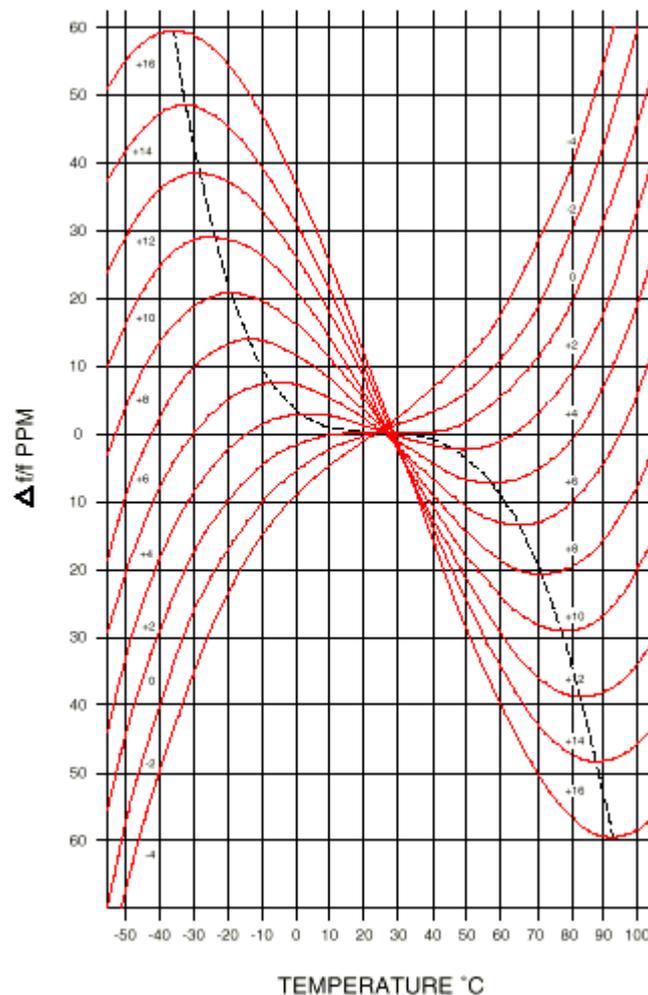
Lors de l'utilisation d'un quartz dans un montage oscillateur ou autre, il faut sélectionner le quartz approprié pour une résonance "série ou parallèle" à indiquer au fabricant.

Influence de la température

Coupe DT

Coupe AT

Les courbes $\Delta f/f$ dépendent de l'angle de coupe. Toutes les courbes passent par 0 entre 20° et 30°. Si on désire placer le quartz dans une enceinte thermo statée, on choisit en général une température de 65° à 75°.



Extrait de la documentation Hy-Q International

V.3 Dérive dans le temps, vieillissement

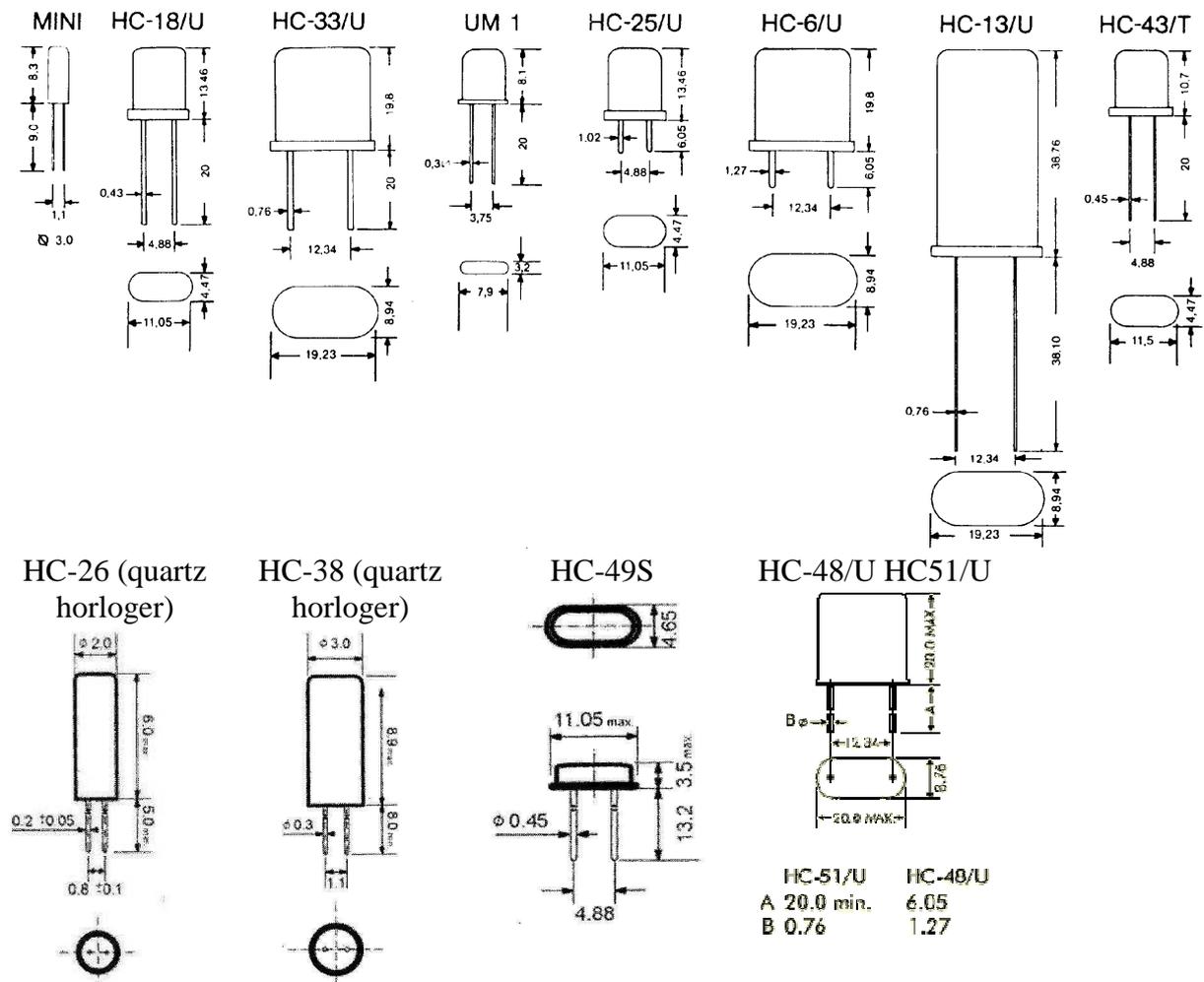
La dérive dans le temps de la fréquence est très faible (voir les caractéristiques données par un fabricant dans le tableau ci-dessus : $< \pm 5$ ppm la première année). Cette dérive de la fréquence dans le temps est connue sous le terme Anglais « Aging ». Elle est liée à la technologie utilisée, le quartz perd quelques impuretés, de la matière, les électrodes et fils de connexions se modifient. Il est important de respecter la puissance maximale d'entraînement de la lame au

risque d'une perte de matière ou même de casse. Si le quartz est enfermé dans une enceinte remplie de gaz, quelques molécules peuvent se fixer sur la lame. C'est pourquoi on enferme le quartz dans une enceinte hermétique remplie de gaz inerte ou mieux sous vide.

V.4 Les différents boîtiers

Les boîtiers de quartz sont normalisés (ou déposés) par (auprès de) l'EIA (Electronic Industries Association) RS-417 et MIL-STD-683. Les boîtiers les plus connus sont pour :

- les hautes fréquences HC-18/U, HC-25/U, HC-45/U et HC-49/U
- les basses fréquences HC-6/U, HC-13/U, HC-33/U et HC-32/U
- et actuellement d'autres boîtiers au format CMS (composants montés en surface)



V.5 L'oscillateur à quartz

V.5.1 L'oscillateur à éléments discrets

L'oscillateur à quartz à éléments discrets utilise un ou des transistor(s) ou circuit(s) intégré(s), des condensateurs et bobine(s).

Pour élaborer le montage, le concepteur choisit le type d'oscillateur (Colpitts, Pierce, etc..) en fonction de son cahier des charges : utilisation de la résonance série ou parallèle du quartz, stabilité, bruit, disponibilité des éléments, réglages, reproductibilité, coûts, etc. Le choix de

montage effectué, il faut sélectionner le quartz approprié (résonance série ou parallèle, précision sur la fréquence, capacité de charge (indiquée par le constructeur)).

Les 2 conditions à remplir pour obtenir une oscillation dans un circuit en boucle fermée est :

- Le gain de la boucle fermée doit être supérieur ou égal à 1,
- Le déphasage le long de la boucle fermée est de $N * 360^\circ$ ($N =$ un entier)

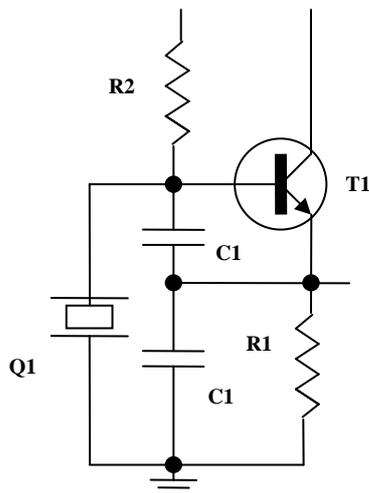
Remarque : le bruit du circuit doit être suffisant (mais pas trop) pour démarrer l'entrée en oscillation du circuit.

Dans le cas d'un oscillateur à quartz, il faut respecter le niveau d'entraînement (# puissance dissipée) du quartz qui est très faible en général de $500\mu\text{W}$ à 1mW pour les quartzs standards et de l'ordre de $1\mu\text{W}$ pour les plus petits et fragiles (quartz horloger).

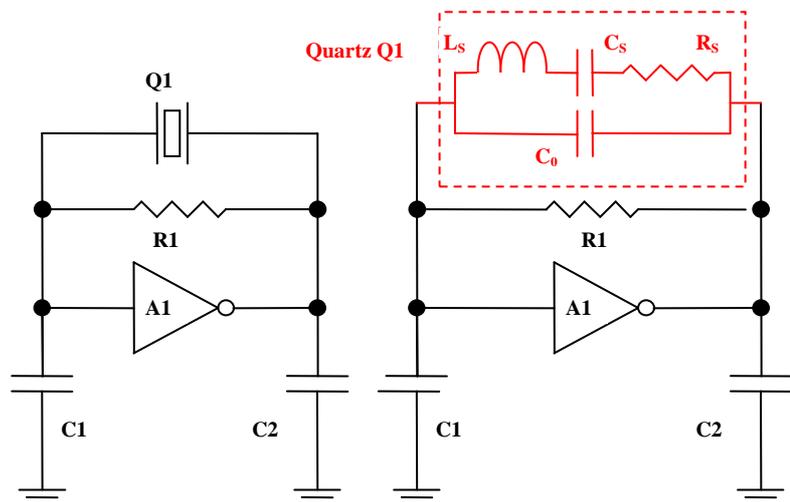
Il faut respecter aussi la capacité de charge indiquée par le fabricant faute de quoi, la fréquence indiquée ne pourra pas être obtenue (en général de 7 pf à 30 pf suivant les modèles, coupe, résonance).

Exemples d'oscillateur :

L'oscillateur de Colpitts, Pierce, Hartley, ...



Oscillateur à quartz à transistor (Colpitts)



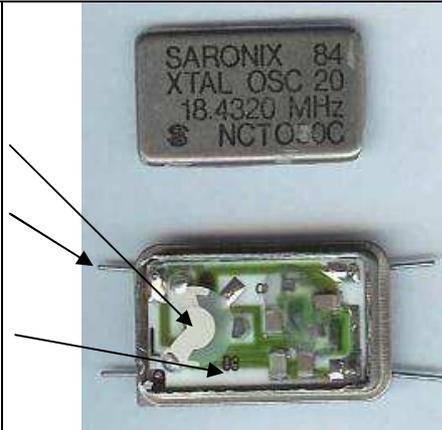
Oscillateur à quartz à porte logique (Hartley) et son schéma équivalent
La résistance R1 permet de linéariser la porte A1 en amplificateur.

V.5.2 L'oscillateur à quartz standard

L'oscillateur à quartz standard est un oscillateur hybride (voir photo ci-dessous) fabriqué par l'industrie pour remplacer un montage classique à base de transistors, résistances et condensateurs. En général, il se présente sous la forme d'un boîtier hermétique au format DIL8 ou DIL14 (Dual in Line) avec 4 connexions externes.

Exemple d'un oscillateur standard à quartz en boîtier DIL14, on aperçoit :

- la lame de quartz qui est ronde et très fine adaptée à la fréquence de 18,4320 MHz,
- L'une des 4 connexions externes sous le boîtier,
- le circuit électronique avec les composants montés en surface sur un substrat en céramique.



Boîtier au format DIL 8

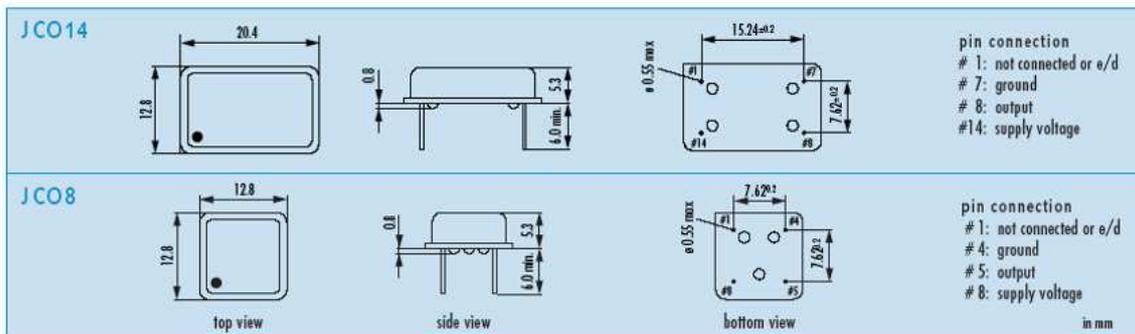


Boîtier au format DIL14

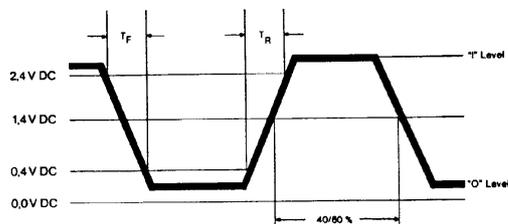
Caractéristiques techniques principales : alimentation : 5V (15 à 60mA), sortance 10 charges TTL, gamme de température 0° à 70°, stabilité ±10 ppm entre 0° et 70°, temps de montée et de descente : 10ns, vieillissement 100ppm sur ans.

Remarque : actuellement, l'utilisateur a le choix des tensions entre 5V et 3.3V.

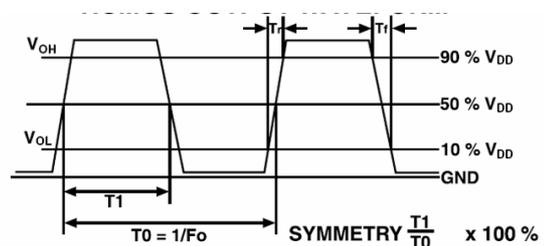
Brochage extrait de la documentation Jauch Quartz gmbh :



Le signal en niveau TTL



en niveau HCMOS



Remarques Les oscillateurs à quartz récents ont des tensions d'alimentation adaptées aux nouvelles technologies, par exemple 3.3V.

V.5.3 Les oscillateurs à quartz haute stabilité

La fréquence d'un oscillateur à quartz dérive en fonction de la variation de la température et de son vieillissement, due en partie au quartz. Pour minimiser la dérive, les fabricants fournissent des oscillateurs compensés en température et vieillis ; plusieurs techniques sont mises en œuvre en fonction des critères et des coûts à obtenir.

- **ATCXO** — oscillateur à cristal à température contrôlée analogiquement,
- **CDXO** — double oscillateur à cristal calibré,
- **MCXO** — oscillateur à cristal à température contrôlée par microcontrôleur,
- **VCXO** — oscillateur à cristal dont la fréquence est contrôlée par la tension,

TCXO : oscillateur à quartz compensé en température (**T**emperature **C**ompensated **X**-tal (Crystal) **O**scillator). La compensation est soit analogique soit numérique et elle utilise une diode à capacité variable pour corriger la dérive de la fréquence de l'oscillateur en fonction de la température. Pour une meilleure compensation, on utilise la compensation numérique (**DTCXO** (**D**igital **T**emperature **C**ompensated Quartz **O**scillator), envoyée à la diode varicap par l'intermédiaire d'un convertisseur Numérique/Analogique.

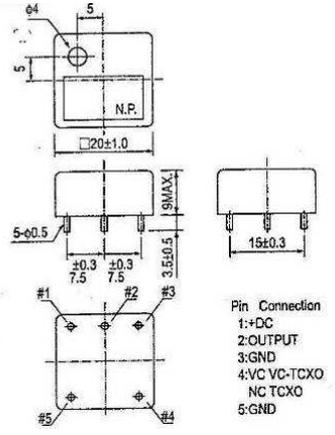
TCVCXO : oscillateur à quartz compensé en température (**T**emperature **C**ompensated **X**-tal (Crystal) **O**scillator), dont la fréquence est contrôlée par la tension,

OCXO : oscillateur à quartz thermostaté (**O**ven **C**ontrolled **X**-tal(Crystal) **O**scillator). La lame de quartz est enfermée dans une enceinte isolée dont la température (70° à 90°) est régulée par un élément de chauffe et une sonde de température. Ce procédé améliore la stabilité en fréquence du quartz par un facteur de dix (ou plus).

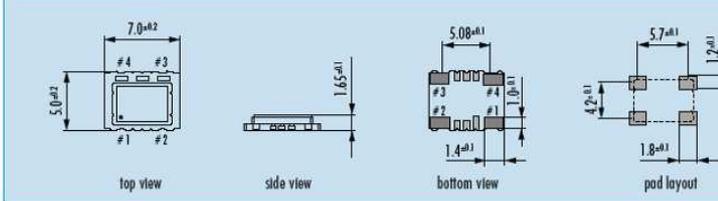
OCVCXO : oscillateur à quartz thermostaté (**OCXO**) à fréquence contrôlée par la tension.

RbXO : pour une plus grande stabilité et précision, l'industrie fabrique des oscillateurs au Rubidium RbXO (**R**ubidium **X**-tal (Crystal) **O**scillators), c'est un oscillateur à cristal (par exemple un MCXO) synchronisé par une source rubidium.

Quelques exemples d'oscillateurs TCXO, VCTCXO, OCXO,

	 <p>Pin Connection 1:+DC 2:OUTPUT 3:GND 4:VC VC-TCXO NC TCXO 5:GND</p>	<p>Oscillateur TCXO 10 MHz Alimentation : 5V Stabilité : 3 ppm de -10° à 60° Réglage de la fréquence sur le dessus Sortie : sinus écrêté 1V Impédance de charge : 20 kΩ</p>
---	--	--





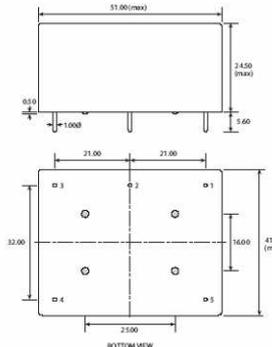
TCXO	VCTCXO
JT75	JT75V
#1: GND	#1: Vcontrol
#2: GND	#2: GND
#3: output	#3: output
#4: Vcc	#4: Vcc

in mm

La version VCTCXO permet d'effectuer un réglage fin de la fréquence d'oscillation

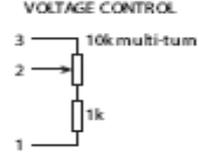
Extrait de la documentation Jauch Quartz GmbH





PIN	CONNECTION
1	Ground
2	Freq adjustment
3	Ref voltage out
4	Supply
5	RF output

VOLTAGE CONTROL



Stabilité de 0.01ppm à 0.003ppm Alimentation de 12V

Extrait de la documentation Colledge

V.6 Le testeur de quartz

Dans le domaine amateur, il est possible de vérifier le bon fonctionnement d'un quartz grâce à un testeur de quartz. Le principe de test est le suivant : le quartz à tester est inséré dans un montage oscillateur tel que décrit plus haut (oscillateur de Colpitts, etc..) et de vérifier/mesurer que l'oscillation fonctionne, par exemple en détectant sa présence par une diode et un condensateur et un millivoltmètre classique (ou par mesure au fréquencemètre ou à l'oscilloscope).

V.7 Le filtre à quartz

Le filtre à quartz est un choix optimisé pour des applications qui nécessitent une bande passante étroite en (très) hautes fréquences avec des flancs très abruptes. C'est dû en partie au coefficient de surtension (qualité Q) très élevé et à l'étroitesse de la bande passante de l'ordre de 0,01% à 0,5% et cela avec une perte d'insertion faible.

Le filtre à quartz peut être choisi directement dans le catalogue d'un fabricant ou réalisé à la demande par celui-ci en fonction du cahier des charges fourni. Il peut aussi être réalisé par l'amateur en éléments discrets : mise en série de plusieurs quartz de même fréquence associés à des condensateurs.

Rappels de termes concernant le filtre :

La fréquence de référence (ou centrale) (Centre Frequency) est définie dans les spécifications. Les autres fréquences sont référencées par rapport à celle-ci. En général, c'est la fréquence centrale du filtre ou la fréquence de la porteuse dans les filtres pour bande latérale unique (BLU).

L'atténuation relative est la différence entre l'atténuation à une fréquence donnée et l'atténuation minimale à l'intérieur de la bande passante ou l'atténuation à la fréquence de référence.

La bande passante est une gamme de fréquences de largeur B (exprimée en Hz ou kHz) à l'intérieur de laquelle l'atténuation relative est égale ou inférieure à une valeur spécifiée A (exprimée en dB).

La largeur de la bande passante (Pass Band width) est la différence des fréquences entre lesquelles l'atténuation relative est égale ou inférieure à une valeur spécifiée A (exprimée en dB).

L'ondulation à l'intérieur de la bande passante R (Ripple) (exprimée en dB) est la différence entre l'atténuation maximale et minimale à l'intérieur de la bande passante.

La perte d'insertion L (Insertion loss) exprimée en dB, à une fréquence donnée est l'atténuation résultant de l'insertion du filtre dans le système de transmission. C'est le logarithme du ratio de la puissance délivrée à la charge avant insertion du filtre par la puissance délivrée à la charge après insertion du filtre. Ce terme est souvent employé en référence à la valeur minimale de l'atténuation du filtre à l'intérieur de la bande passante.

La fréquence de coupure (Cut Off Frequency) est la fréquence de la bande passante spécifiée à 3dB ou 6dB

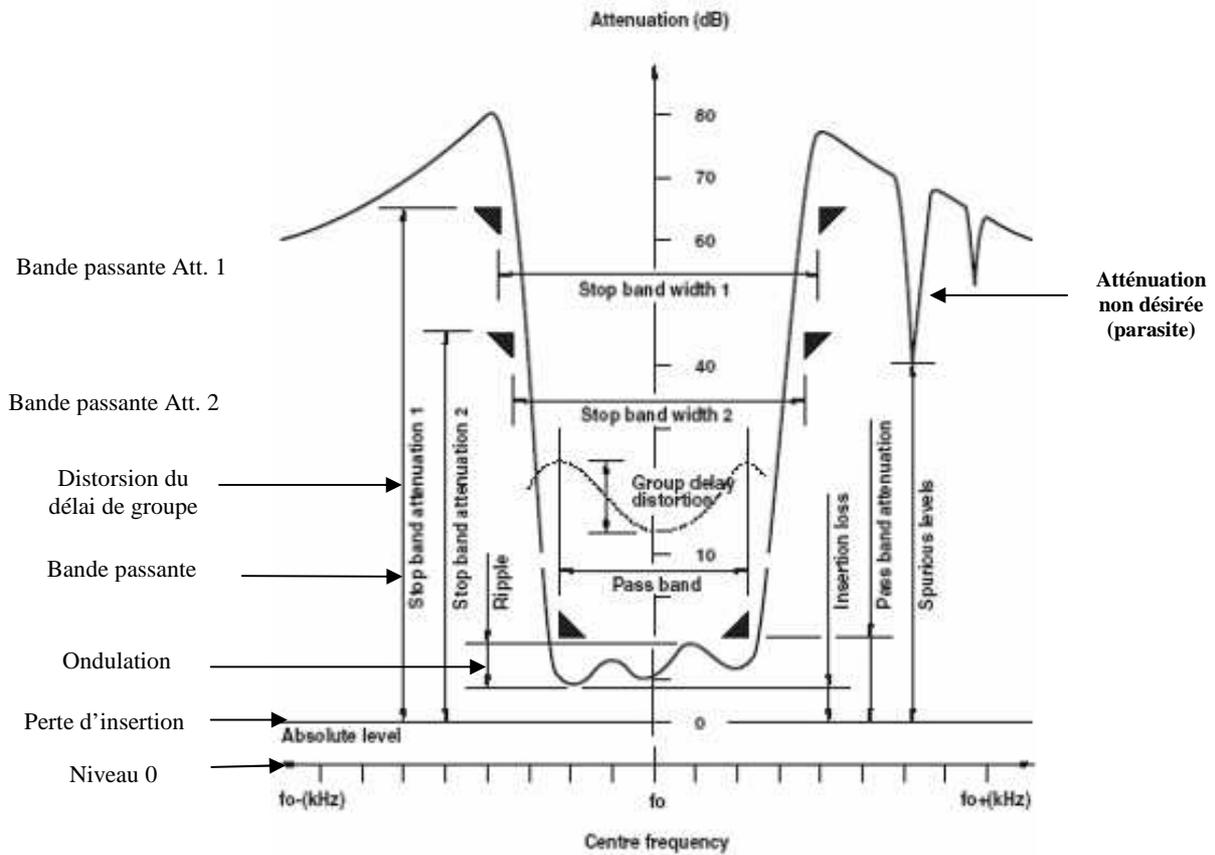
La bande de blocage (Stop Band) : bande (s) de fréquences dans laquelle l'atténuation relative est égale ou supérieure à la valeur minimale spécifiée.

Réponse d'atténuation parasite (Spurious Response Attenuation) : l'atténuation minimale A4(dB) garantie pour la réponse parasite dans la bande de blocage. Les réponses parasites se produisent en général à des fréquences supérieures à la fréquence centrale.

L'atténuation garantie (Guaranteed Attenuation) est l'atténuation minimale garantie dans la gamme spécifiée de fréquences.

Les impédances de terminaison (Input/Output Impedance) sont celles présentées au filtre en entrée et en sortie, ces impédances sont en général égales et exprimées en termes d'une combinaison de résistance et condensateur en parallèle.

Courbe d'atténuation d'un filtre avec la représentation des différents termes utilisés



Extrait de la documentation TFC

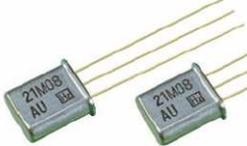
V.7.1 Le filtre à quartz de l'industrie

Exemples de filtres à quartz (extrait de la documentation TFC)

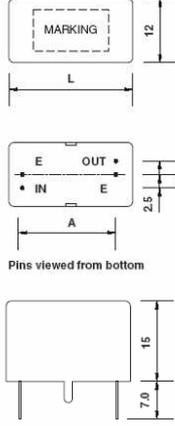
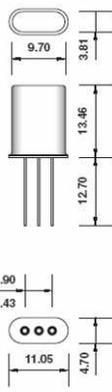
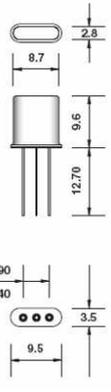
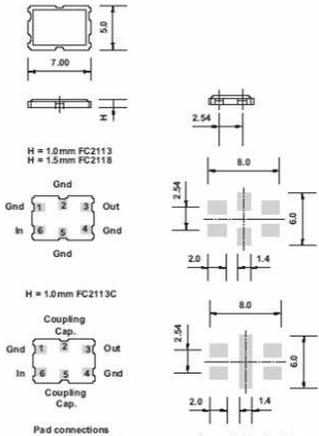
Model	Passband		Stopband		Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type		
	(dB)	$\pm(kHz)$	(dB)	$\pm(kHz)$							
10M08C	6	3.75	45	8.75	60	12.5	2.0	3.0	1500/2	6	M-104
10M08CM	6	3.75	45	8.75	60	12.5	2.0	3.0	1500/2	6	UM-2 x 3
10M12C	6	6.00	45	14.0	65	20.0	2.0	3.0	3000/1	6	M-104
10M15C	6	7.50	45	17.50	65	25.0	2.0	3.0	3000/1	6	M-104
10M15CM	6	7.50	45	17.50	65	25.0	2.0	2.0	3000/1	6	UM-2 x 3
10M20C	6	10.00	45	23.0	65	30.0	2.0	3.0	3300/0.5	6	M-104
10M08D	6	3.75	65	8.75	90	12.5	2.0	4.0	1500/2	8	M-105
10M12D	6	6.00	65	14.0	90	20.0	2.0	4.0	3000/1	8	M-105
10M15D	6	7.50	65	17.50	90	25.0	2.0	4.0	3000/1	8	M-105
10M20D	6	10.00	65	23.0	90	30.0	2.0	4.0	3300/0.5	8	M-105



Filtres 10,70 Mhz

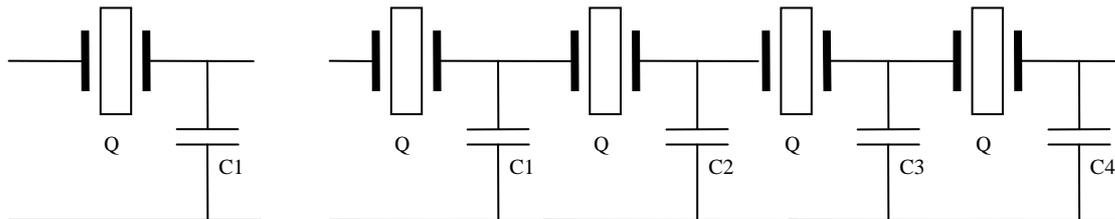
 <p>Filtres 21,40 MHz monolithique</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Passband (dB) ±(kHz)</th> <th>Stopband (dB) ±(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>21M08A</td><td>3 3.75</td><td>18 14.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/4</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21M08AU</td><td>3 3.75</td><td>18 14.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/7</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21M08B</td><td>3 3.75</td><td>40 14.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1300/2</td><td>4</td><td>HC-49/U x 2</td></tr> <tr><td>21M08BU</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>900/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M08B5</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>900/2</td><td>4</td><td>UM-5 x 2</td></tr> <tr><td>21M8LBU</td><td>3 3.75</td><td>35 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M15A</td><td>3 7.50</td><td>18 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/5</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21M15AU</td><td>3 7.50</td><td>20 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21M15A5</td><td>3 7.50</td><td>20 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>2</td><td>UM-5</td></tr> <tr><td>21M15B</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1000/2</td><td>4</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21M15BU</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M15BU1</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>1000/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M15B5</td><td>3 7.50</td><td>40 25.0</td><td>1.0</td><td>2.5</td><td>1500/1</td><td>4</td><td>UM-5 x 2</td></tr> <tr><td>21M12AU</td><td>3 6.00</td><td>20 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>900/2</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21M12BU</td><td>3 6.00</td><td>40 20.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1500/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>21M20A</td><td>3 10.00</td><td>18 33.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>900/4</td><td>2</td><td>HC-49/U</td></tr> <tr><td>21M20AU</td><td>3 10.00</td><td>18 35.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>2200/1</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>21M20B</td><td>3 10.00</td><td>40 35.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>1200/1</td><td>4</td><td>HC-49/U x 2</td></tr> </tbody> </table>	Model	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type	21M08A	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/4	2	HC-49/U	21M08AU	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/7	2	UM-1	21M08B	3 3.75	40 14.0	1.0	2.0	1300/2	4	HC-49/U x 2	21M08BU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-1 x 2	21M08B5	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-5 x 2	21M8LBU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2	21M15A	3 7.50	18 25.0	0.5	2.0	900/5	2	HC-49/U	21M15AU	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-1	21M15A5	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-5	21M15B	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1000/2	4	HC-49/U	21M15BU	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2	21M15BU1	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1000/2	4	UM-1 x 2	21M15B5	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1500/1	4	UM-5 x 2	21M12AU	3 6.00	20 25.0	0.5	2.0	900/2	2	UM-1	21M12BU	3 6.00	40 20.0	1.0	2.0	1500/2	4	UM-1 x 2	21M20A	3 10.00	18 33.0	1.0	2.0	900/4	2	HC-49/U	21M20AU	3 10.00	18 35.0	1.0	2.0	2200/1	2	UM-1	21M20B	3 10.00	40 35.0	1.0	2.0	1200/1	4	HC-49/U x 2
Model	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																		
21M08A	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/4	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21M08AU	3 3.75	18 14.0	0.5	2.0	900/7	2	UM-1																																																																																																																																																		
21M08B	3 3.75	40 14.0	1.0	2.0	1300/2	4	HC-49/U x 2																																																																																																																																																		
21M08BU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M08B5	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	900/2	4	UM-5 x 2																																																																																																																																																		
21M8LBU	3 3.75	35 12.5	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M15A	3 7.50	18 25.0	0.5	2.0	900/5	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21M15AU	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-1																																																																																																																																																		
21M15A5	3 7.50	20 30.0	0.5	2.0	1500/2	2	UM-5																																																																																																																																																		
21M15B	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1000/2	4	HC-49/U																																																																																																																																																		
21M15BU	3 7.50	40 25.0	1.0	2.0	1500/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M15BU1	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1000/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M15B5	3 7.50	40 25.0	1.0	2.5	1500/1	4	UM-5 x 2																																																																																																																																																		
21M12AU	3 6.00	20 25.0	0.5	2.0	900/2	2	UM-1																																																																																																																																																		
21M12BU	3 6.00	40 20.0	1.0	2.0	1500/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																		
21M20A	3 10.00	18 33.0	1.0	2.0	900/4	2	HC-49/U																																																																																																																																																		
21M20AU	3 10.00	18 35.0	1.0	2.0	2200/1	2	UM-1																																																																																																																																																		
21M20B	3 10.00	40 35.0	1.0	2.0	1200/1	4	HC-49/U x 2																																																																																																																																																		
 <p>Montage en surface profil bas type 2113 2218 Fréquence 21,40MHz à 90MHz</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Nominal Frequency</th> <th>Passband (dB) ±(kHz)</th> <th>Stopband (dB) ±(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Attenuation (f=910)kHz (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>21408A1</td><td>21.40MHz</td><td>3 3.75</td><td>15 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>850/6.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21808A1</td><td>21.80MHz</td><td>3 3.75</td><td>15 12.5</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>850/6.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21415A1</td><td>21.40MHz</td><td>3 7.50</td><td>18 28.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1500/2.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>21715A1</td><td>21.70MHz</td><td>3 7.50</td><td>18 28.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1500/2.0</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>22011B1</td><td>22.05MHz</td><td>3 5.50</td><td>30 30.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>80</td><td>1600/2.0</td><td>4</td><td>FC2113x2</td></tr> <tr><td>29020A1</td><td>29.00MHz</td><td>3 10.0</td><td>10 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1800/1.5</td><td>2</td><td>FC2113</td></tr> <tr><td>44211B1</td><td>44.25MHz</td><td>3 5.50</td><td>30 20.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>80</td><td>430/4.0</td><td>4</td><td>FC2118x2</td></tr> <tr><td>45015A1</td><td>45.00MHz</td><td>3 7.50</td><td>15 25.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>560/6.0</td><td>2</td><td>FC2118</td></tr> <tr><td>45030A1</td><td>45.00MHz</td><td>3 15.0</td><td>15 60.0</td><td>1.0</td><td>2.0</td><td>70</td><td>1200/1.8</td><td>2</td><td>FC2118</td></tr> <tr><td>70020B1</td><td>70.05MHz</td><td>3 10.0</td><td>20 25.0</td><td>1.0</td><td>4.5</td><td>70</td><td>2500/1.0</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> <tr><td>73313B1</td><td>73.35MHz</td><td>3 6.50</td><td>30 20.0</td><td>1.0</td><td>4.0</td><td>65</td><td>1700/0.6</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> <tr><td>90015B1</td><td>90.00MHz</td><td>3 7.50</td><td>30 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>80</td><td>1500/1.0 AF</td><td>4</td><td>FC2113Cx1</td></tr> </tbody> </table>	Model	Nominal Frequency	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Attenuation (f=910)kHz (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type	21408A1	21.40MHz	3 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	850/6.0	2	FC2113	21808A1	21.80MHz	3 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	850/6.0	2	FC2113	21415A1	21.40MHz	3 7.50	18 28.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113	21715A1	21.70MHz	3 7.50	18 28.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113	22011B1	22.05MHz	3 5.50	30 30.0	1.0	3.0	80	1600/2.0	4	FC2113x2	29020A1	29.00MHz	3 10.0	10 25.0	1.0	2.0	70	1800/1.5	2	FC2113	44211B1	44.25MHz	3 5.50	30 20.0	1.0	3.0	80	430/4.0	4	FC2118x2	45015A1	45.00MHz	3 7.50	15 25.0	1.0	2.0	70	560/6.0	2	FC2118	45030A1	45.00MHz	3 15.0	15 60.0	1.0	2.0	70	1200/1.8	2	FC2118	70020B1	70.05MHz	3 10.0	20 25.0	1.0	4.5	70	2500/1.0	4	FC2113Cx1	73313B1	73.35MHz	3 6.50	30 20.0	1.0	4.0	65	1700/0.6	4	FC2113Cx1	90015B1	90.00MHz	3 7.50	30 25.0	1.0	3.0	80	1500/1.0 AF	4	FC2113Cx1																						
Model	Nominal Frequency	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Attenuation (f=910)kHz (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																
21408A1	21.40MHz	3 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	850/6.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21808A1	21.80MHz	3 3.75	15 12.5	1.0	2.0	70	850/6.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21415A1	21.40MHz	3 7.50	18 28.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113																																																																																																																																																
21715A1	21.70MHz	3 7.50	18 28.0	1.0	2.0	70	1500/2.0	2	FC2113																																																																																																																																																
22011B1	22.05MHz	3 5.50	30 30.0	1.0	3.0	80	1600/2.0	4	FC2113x2																																																																																																																																																
29020A1	29.00MHz	3 10.0	10 25.0	1.0	2.0	70	1800/1.5	2	FC2113																																																																																																																																																
44211B1	44.25MHz	3 5.50	30 20.0	1.0	3.0	80	430/4.0	4	FC2118x2																																																																																																																																																
45015A1	45.00MHz	3 7.50	15 25.0	1.0	2.0	70	560/6.0	2	FC2118																																																																																																																																																
45030A1	45.00MHz	3 15.0	15 60.0	1.0	2.0	70	1200/1.8	2	FC2118																																																																																																																																																
70020B1	70.05MHz	3 10.0	20 25.0	1.0	4.5	70	2500/1.0	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
73313B1	73.35MHz	3 6.50	30 20.0	1.0	4.0	65	1700/0.6	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
90015B1	90.00MHz	3 7.50	30 25.0	1.0	3.0	80	1500/1.0 AF	4	FC2113Cx1																																																																																																																																																
 <p>Filtre 45 MHz fondamentale</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Model</th> <th>Nominal Frequency</th> <th>Passband (dB) ±(kHz)</th> <th>Stopband (dB) ±(kHz)</th> <th>Ripple (dB)</th> <th>Loss (dB)</th> <th>Terminating Impedance (Ω/pF)</th> <th>No. of Poles</th> <th>Model Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>45M08B1</td><td>45.00</td><td>3 3.75</td><td>30 12.5</td><td>1.0</td><td>4.0</td><td>330/7</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M10B1</td><td>45.00</td><td>3 5.0</td><td>30 18.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>390/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M12B1</td><td>45.00</td><td>3 6.0</td><td>30 12.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>390/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M13B1</td><td>45.00</td><td>3 6.5</td><td>35 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>390/4</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M15A1</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>15 25.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>470/6</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>45M15B1</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>30 25.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>470/3</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M15C1</td><td>45.00</td><td>3 7.5</td><td>60 25.0</td><td>2.0</td><td>5.0</td><td>470/3</td><td>6</td><td>M-107</td></tr> <tr><td>45M18A1</td><td>45.00</td><td>3 9.0</td><td>15 30.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>470/6</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>45M18B1</td><td>45.00</td><td>3 9.0</td><td>30 30.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>500/3</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>45M35B1</td><td>45.00</td><td>3 17.50</td><td>35 50.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>1000/1</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> <tr><td>47M20A1</td><td>47.450</td><td>3 10.0</td><td>15 35.0</td><td>0.5</td><td>2.0</td><td>560/5</td><td>2</td><td>UM-1</td></tr> <tr><td>47M20B1</td><td>47.450</td><td>3 10.0</td><td>35 35.0</td><td>1.0</td><td>3.0</td><td>560/2</td><td>4</td><td>UM-1 x 2</td></tr> </tbody> </table>	Model	Nominal Frequency	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type	45M08B1	45.00	3 3.75	30 12.5	1.0	4.0	330/7	4	UM-1 x 2	45M10B1	45.00	3 5.0	30 18.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2	45M12B1	45.00	3 6.0	30 12.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2	45M13B1	45.00	3 6.5	35 25.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2	45M15A1	45.00	3 7.5	15 25.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1	45M15B1	45.00	3 7.5	30 25.0	1.0	3.0	470/3	4	UM-1 x 2	45M15C1	45.00	3 7.5	60 25.0	2.0	5.0	470/3	6	M-107	45M18A1	45.00	3 9.0	15 30.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1	45M18B1	45.00	3 9.0	30 30.0	1.0	3.0	500/3	4	UM-1 x 2	45M35B1	45.00	3 17.50	35 50.0	1.0	3.0	1000/1	4	UM-1 x 2	47M20A1	47.450	3 10.0	15 35.0	0.5	2.0	560/5	2	UM-1	47M20B1	47.450	3 10.0	35 35.0	1.0	3.0	560/2	4	UM-1 x 2																																			
Model	Nominal Frequency	Passband (dB) ±(kHz)	Stopband (dB) ±(kHz)	Ripple (dB)	Loss (dB)	Terminating Impedance (Ω/pF)	No. of Poles	Model Type																																																																																																																																																	
45M08B1	45.00	3 3.75	30 12.5	1.0	4.0	330/7	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M10B1	45.00	3 5.0	30 18.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M12B1	45.00	3 6.0	30 12.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M13B1	45.00	3 6.5	35 25.0	1.0	3.0	390/4	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M15A1	45.00	3 7.5	15 25.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1																																																																																																																																																	
45M15B1	45.00	3 7.5	30 25.0	1.0	3.0	470/3	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M15C1	45.00	3 7.5	60 25.0	2.0	5.0	470/3	6	M-107																																																																																																																																																	
45M18A1	45.00	3 9.0	15 30.0	0.5	2.0	470/6	2	UM-1																																																																																																																																																	
45M18B1	45.00	3 9.0	30 30.0	1.0	3.0	500/3	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
45M35B1	45.00	3 17.50	35 50.0	1.0	3.0	1000/1	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	
47M20A1	47.450	3 10.0	15 35.0	0.5	2.0	560/5	2	UM-1																																																																																																																																																	
47M20B1	47.450	3 10.0	35 35.0	1.0	3.0	560/2	4	UM-1 x 2																																																																																																																																																	

Exemples de boitiers

 <p>Pin diameter Ø Lugs are (4 x 1.5 x 0.3)mm</p>			 <p>Pad connections viewed from bottom Suggested land pattern</p>													
<p>Boitiers M-104 et M-105</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Enclosure</th> <th>L</th> <th>A</th> <th>Ø</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M-104</td> <td>15.0</td> <td>9.00</td> <td>0.43</td> </tr> <tr> <td>M-105</td> <td>18.50</td> <td>13.4</td> <td>0.43</td> </tr> </tbody> </table>	Enclosure	L	A	Ø	M-104	15.0	9.00	0.43	M-105	18.50	13.4	0.43	<p>HC49/U</p>	<p>UM/2</p>		
Enclosure	L	A	Ø													
M-104	15.0	9.00	0.43													
M-105	18.50	13.4	0.43													

V.7.2 Le filtre à quartz à éléments discrets

Le concepteur « amateur » peut se constituer un filtre à quartz en éléments discrets en considérant la bande passante à obtenir, la raideur des flancs et la fréquence centrale. La bande passante va permettre de déterminer approximativement le nombre de cellules (ou de pôles) à mettre en série 2, 4, 6 ou 8 pôles (voir le schéma ci-dessous). Le concepteur commence par approvisionner un nombre de quartzs supérieur à celui nécessaire (nombre de pôles). Il va ensuite tester les quartzs et noter leur fréquence. Il sélectionne ensuite les quartzs dont la fréquence est très proche. Le calcul des différents éléments peuvent se trouver sur le Net.



Filtre à quartz à 1 cellule

Filtre à quartz à 4 cellules

L'ondulation dans la bande passante est due aux différents pôles et à leurs couplages.

Remarques sur les filtres à quartz de réalisation amateur et industriel (en général) :

Si on augmente le nombre de cellules (pôles) :

- le facteur de forme s'améliore,
- l'atténuation dans la bande passante augmente,
- les flancs sont plus raides.

Si la fréquence individuelle des quartzs sélectionnés diffère :

- l'atténuation dans la bande passante augmente,
- l'atténuation hors de la bande passante diminue.

VI Le tore magnétique

VII Le transformateur

VII.1 Le transformateur – l'induction mutuelle – généralités

Rappel du cours :

Le transformateur est un composant passif, non polarisé, composé d'au moins deux enroulements bobinés autour d'un même circuit magnétique. Ce circuit magnétique est composé, par ordre croissant de la fréquence du courant, d'un empilement de tôles minces, de ferrite ou d'air (pas de circuit magnétique représenté). Le transformateur est un cas particulier de bobines couplées. L'énergie est appliquée sur le **primaire** et est récupérée sur le ou les **secondaires**. Un transformateur ne transforme que des courants alternatifs (et si possible sinusoïdaux). Un transformateur possède plusieurs caractéristiques : le **nombre de spires** de ses enroulements (n_p pour le primaire et n_s pour le secondaire) donne le rapport de transformation $N = n_s / n_p$ (si $N > 1$, le transformateur est élévateur, sinon il est abaisseur) ; la **puissance** utile délivrée au(x) secondaire(s) du transformateur est exprimée en Volt-Ampères (VA) et non pas en watts car il s'agit d'une puissance délivrée sur le secondaire et non pas consommée comme le ferait une simple résistance ; le **rendement** η (lettre grecque eta minuscule) est le rapport en % obtenu en divisant la puissance à la sortie du ou des secondaires (P_s) par la puissance d'entrée (P_p). Un transformateur parfait (ou idéal) a un rendement de 100% : toute l'énergie présente sur le primaire est transférée sur le ou les secondaires.

N = Rapport de transformation = n_s / n_p

Puissance utile : $P_s = U_s \cdot I_s = U_p \cdot I_p = P_p \quad \eta = 100\%$

$U_s = U_p \cdot N$ ou $U_p = U_s / N$

$N = U_s / U_p$ ou $N = I_p / I_s$

$I_s = I_p / N$ ou $I_p = I_s \cdot N$

$Z_s = Z_p \cdot N^2$ ou $Z_p = Z_s / N^2$ ou $N = \sqrt{Z_s / Z_p}$

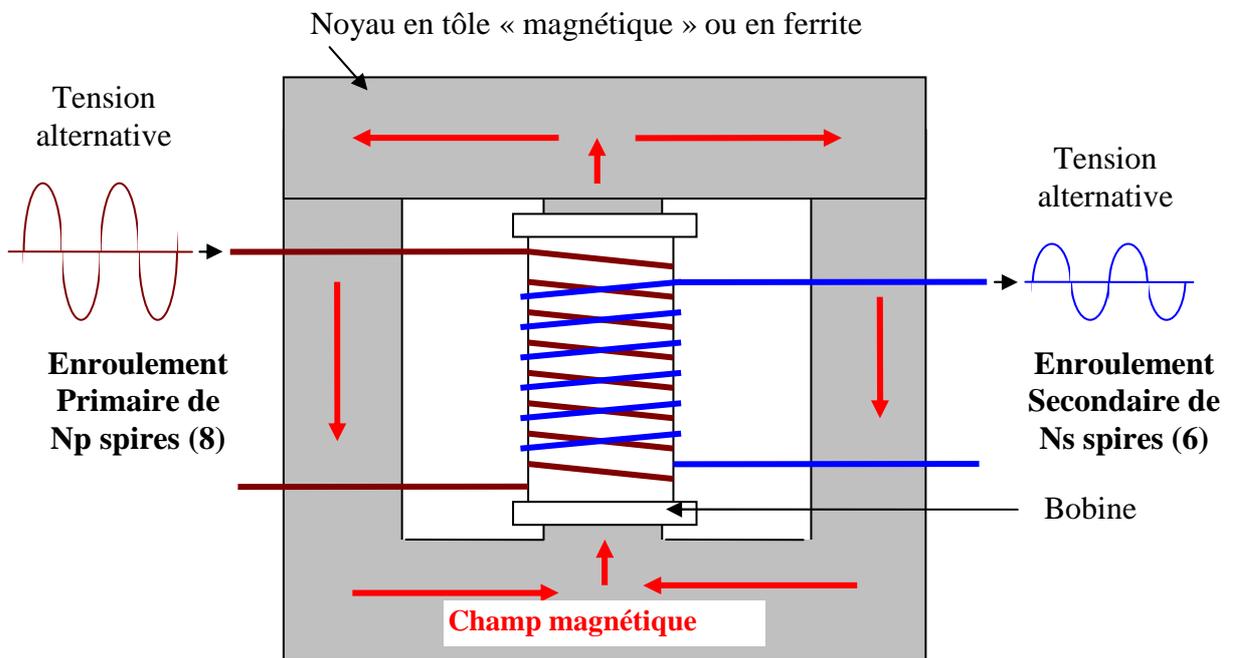
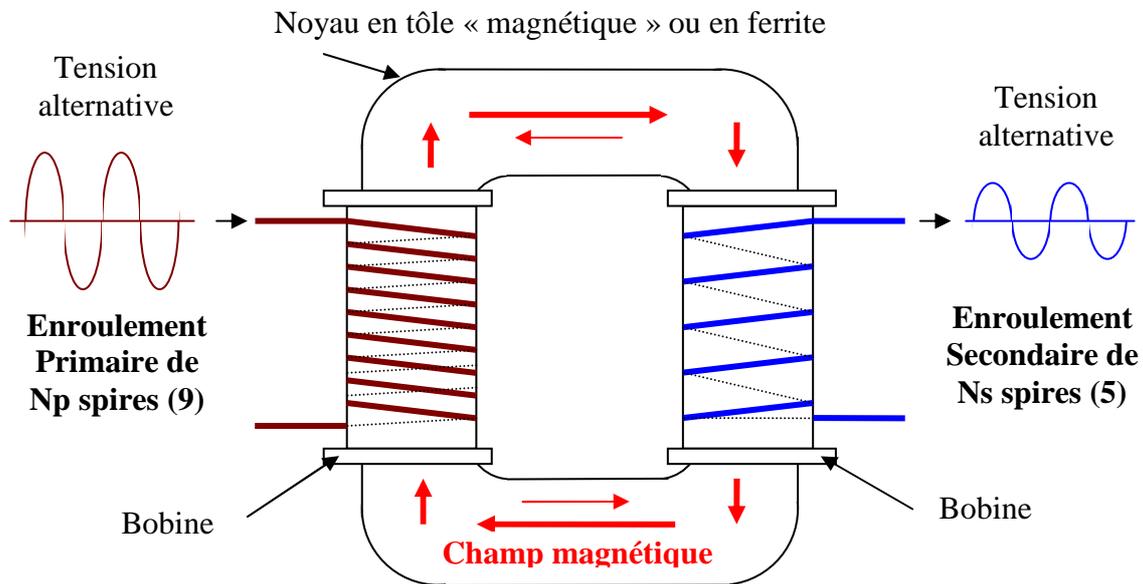
La taille du noyau (sa section) est proportionnelle à la puissance admissible du transformateur et dépend du matériau le constituant.

Le courant de Foucault :

Le courant alternatif dans l'enroulement primaire engendre dans le circuit magnétique un flux alternatif. Ce flux variable engendre un courant alternatif dans le secondaire mais aussi dans la tôle du circuit magnétique. Ces courants induits sont dits courants de Foucault et provoquent l'échauffement de la tôle, donc des pertes. Pour limiter ces pertes, le circuit magnétique sera feuilleté et chaque élément (en forme de E ou de I) sera isolé par vernissage ou par une couche d'oxyde. Les pertes par courants de Foucault sont proportionnelles au carré de la fréquence, ce qui justifie la diminution de l'épaisseur des tôles quand la fréquence augmente. Pour les fréquences élevées (au delà de la B.F.), le feuilletage ne suffit plus, des poudres ferromagnétiques (ferrite) sont alors employées.

Schéma du principe de fonctionnement de quelques transformateurs

Exemple d'un transformateur abaisseur $N_p > N_s$ ($9 > 5$)
Avec un noyau, un seul enroulement primaire et secondaire



Noyau avec un empilement de tôles magnétiques en forme de E et de I (alternées)

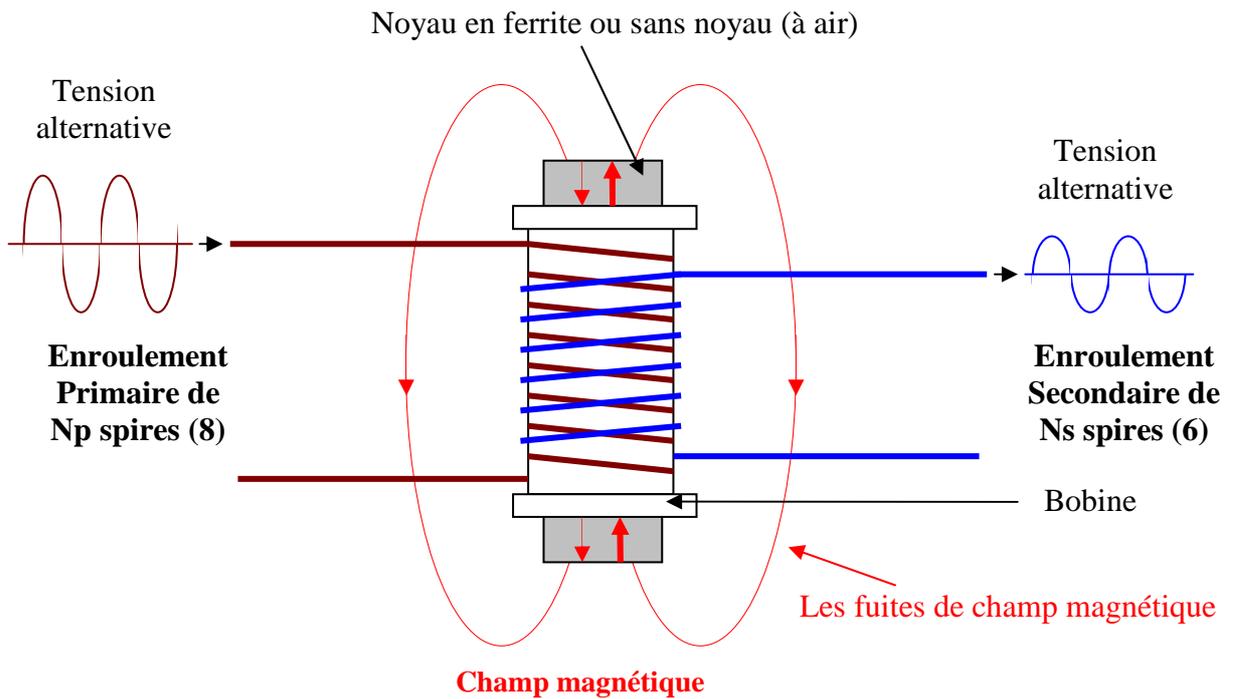
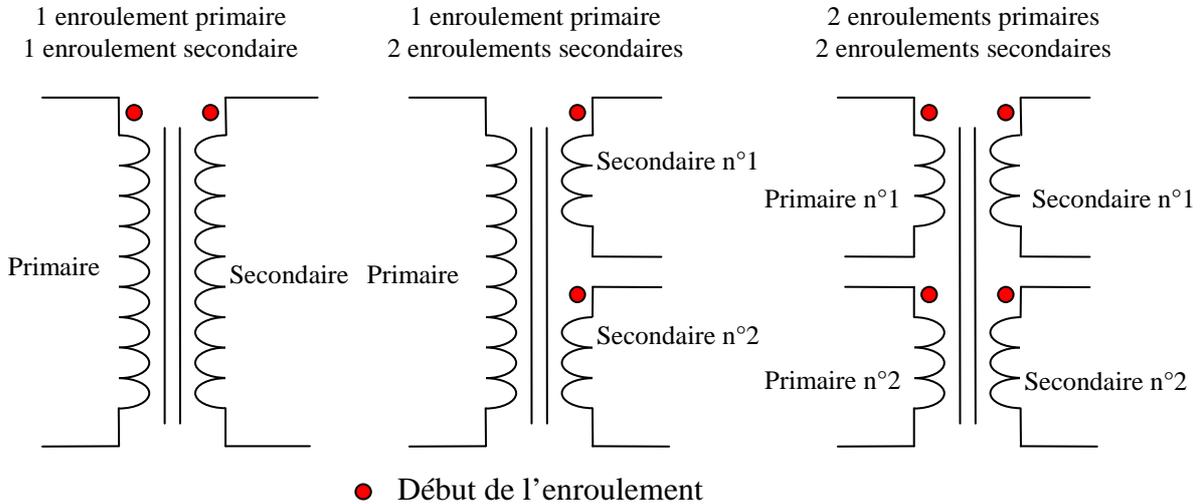
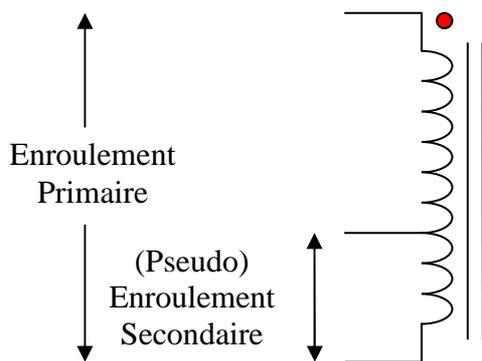


Schéma de différents types de transformateurs



L'autotransformateur

L'autotransformateur possède un enroulement primaire avec une connexion supplémentaire (prise intermédiaire) sur cet enroulement. Cette connexion est une des 2 connexions du pseudo enroulement secondaire. Le positionnement de cette connexion dépend du rapport de transformation souhaité soit pour adapter l'impédance entrée / sortie soit pour avoir une tension de sortie d'un certain niveau.



- Début de l'enroulement

VII.2 Caractéristiques techniques d'un transformateur

Les caractéristiques principales d'un transformateur fournis par le fabricant sont :

- La puissance nominale exprimée en Volt Ampère (VA) qu'il peut fournir. Elle varie de 1 VA à quelques Kilo VA ou même à des centaines de KVA en milieu industriel. Il faut tenir compte des pertes dues au transformateur, il faut choisir la puissance en VA du transformateur supérieure de 5% à 30% à la puissance consommée par la charge (en fonction des caractéristiques données par le fabricant (perte dans les tôles du noyau, etc...)).
- Le nombre de tensions secondaires séparées ou ayant un point commun,
- L'intensité maximale de chaque tension secondaire,
- Le rendement : rapport de la puissance utile sur la puissance consommée (entre 95% et 70%) (due aux pertes : résistances des fils (échauffement par effet joule, pertes dans le noyau par courant de Foucault, etc...)),
- Le rapport entre la tension de sortie à vide et en charge,
- Le matériau constituant le noyau quand il existe.

Exemple :

Un transformateur de 120 VA ayant 2 enroulements secondaires de 12 V peut débiter 5A par enroulement, en effet $I = P / U$ d'où $I = \frac{120}{12 * 2} = 5 \text{ A}$

Remarques :

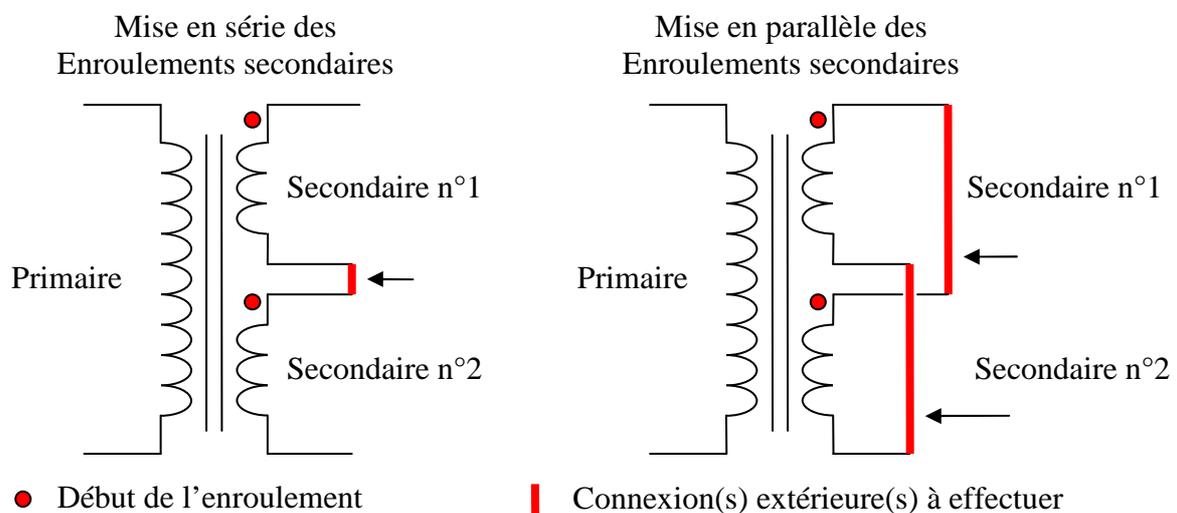
- Les caractéristiques mentionnées ci-dessus ne sont pas toujours fournies à l'utilisateur,
- la puissance en VA est la puissance apparente d'un appareil obtenue par la formule $P = U * I$. Elle est différente du Watt sauf pour le cas des charges résistives idéales (pas d'inductance ni capacité). Le Watt est utilisé pour la puissance consommée en courant continu et en courant alternatif en tenant compte du déphasage entre le courant et la tension (Cosinus(φ)).

VII.3 Combinaison des enroulements

Il est possible de combiner les enroulements primaires ou secondaires en respectant le sens des enroulements (le même sens), la tension et l'intensité de chacun des enroulements qui doivent être (en général) égaux :

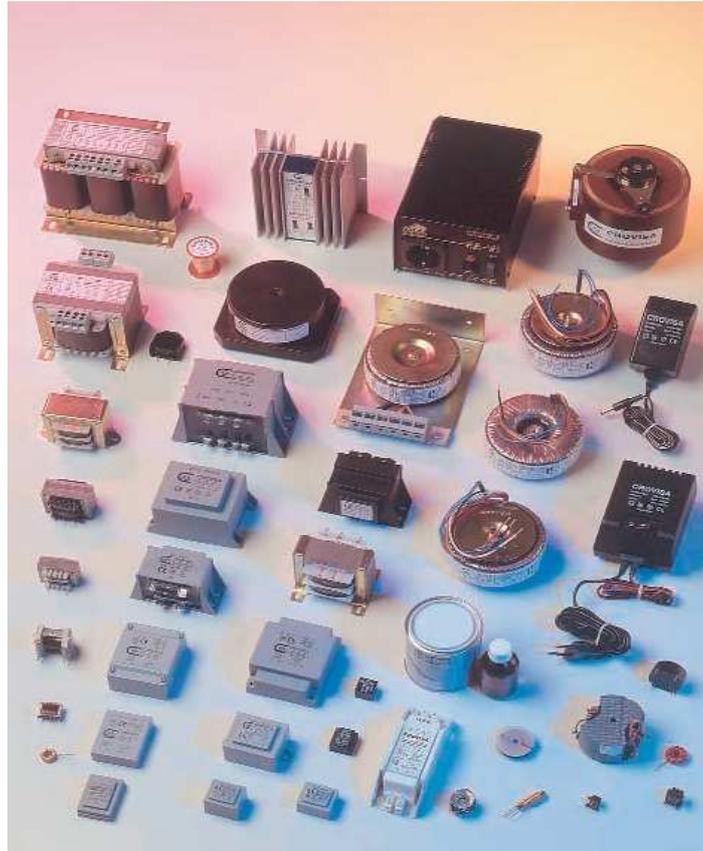
- en série pour obtenir une tension plus importante (somme des tensions en série). Par exemple, 2 enroulements secondaires en série de 9V (chacun) fournissent une tension totale de 18V,
- en parallèle pour obtenir une intensité plus importante (somme des intensités en parallèle). Par exemple, 2 enroulements secondaires (de même tension) en parallèle de 1A (chacun) fournissent une intensité totale de 2A.

Remarque importante : il est impératif de respecter le sens des enroulements pour ne pas détruire le transformateur.



Le type de raisonnement ci-dessus pour les enroulements secondaires est valable pour les enroulements primaires (ex : 2 enroulements primaires de 110V chacun sont mis en série pour être alimentés en 220 V).

VII.4 Les différents transformateurs



Extrait de la documentation Crovisa

VII.5 Le transformateur à alimentation secteur

Ce type de transformateur dispose d'un enroulement primaire branché directement sur le secteur (en France : la tension efficace est de 220 V et la fréquence de 50 Hertz). Dans le cas d'un transformateur international disposant de 2 enroulements primaires de 110 V chacun, il suffit de combiner en série les 2 enroulements primaires pour le branchement sur 220 V (ce type de transformateur est adapté pour un raccordement sur 110 V ou 220 V).

VII.5.1 *Le transformateur sur carcasse et étrier*

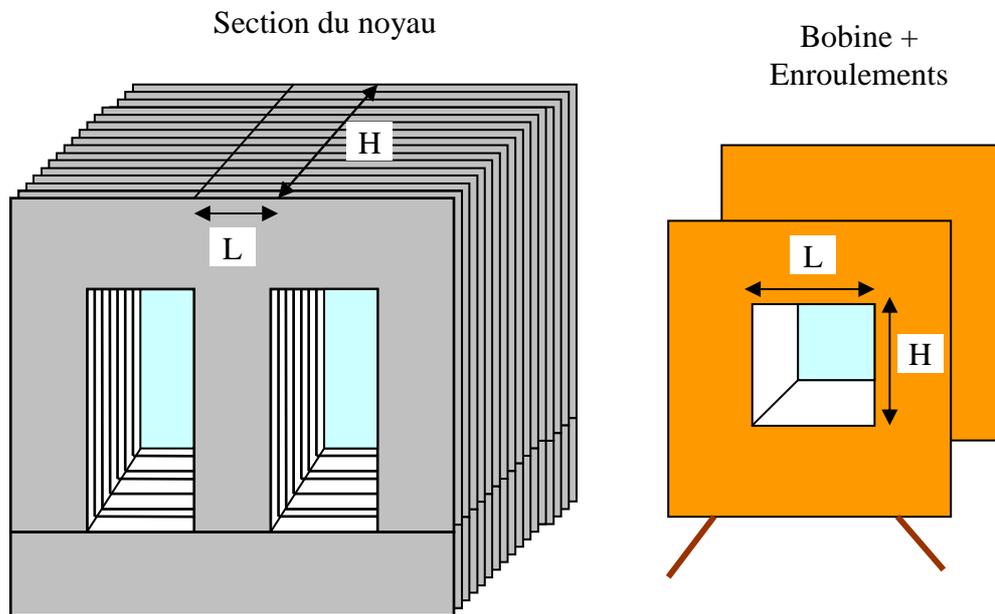


VII.5.2 *Calcul de la section du noyau et du nombre de spires par volt*

Les dimensions du transformateur et du noyau varient selon la puissance maximale que peut délivrer le transformateur (plus la puissance augmente plus les dimensions du transformateur

augmentent). Les dimensions dépendent aussi du matériau utilisé pour fabriquer le circuit magnétique.

Pour diminuer les courants de Foucault dans les tôles magnétiques ont introduit du silicium qui augmente la résistance électrique et la perméabilité magnétique.



La section brute du noyau est calculée par la formule : $S = L * H$ en mm^2 .

La section nette magnétique « utile » est calculée par la formule $S_n = S * 0,95$ pour tenir compte de l'enrobage des tôles magnétiques (vernis, couche d'oxydation, etc..) utilisé pour éviter les pertes par courant de Foucault (soit 5% de pertes ou plus).

$$\text{Puissance en VA} = \frac{S_n^2 * \text{Perm Weber}^2}{140}$$

Type de lame	Rendement	Perm Weber	Nombre de spires par volt (NS/V)
Silicium standard	0,80	1,10	4100/Sn
Silicium de qualité moyenne	0,82	1,15	3910/Sn
Silicium de qualité supérieure	0,84	1,20	3750/Sn
Silicium à grains orientés	0,86	1,25	3600/Sn
Silicium pour noyau en C	0,88	1,30	3470/Sn

Si on ne connaît pas les caractéristiques du tableau ci-dessus :

On peut utiliser une des 2 formules approximatives :

$$P(\text{VA}) = (0,83 * S_n^2) / 13500$$

$$S_n = 1,2 \sqrt{P}$$

Le nombre de spires par Volt est proportionnel à la puissance du transformateur et il est calculé par la formule suivante :

$$NS/V = \frac{10000}{(0,0444 * F * S_n * \text{Perm Weber})}$$

F est la fréquence en Hertz, Sn la section nette, Perm Weber est donnée dans le tableau ci-dessus.

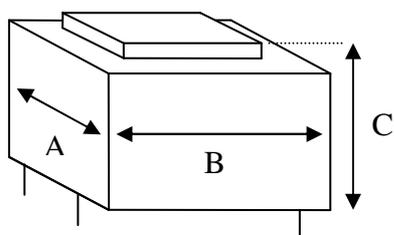
VII.5.3 Le transformateur moulé

Ce type de transformateur est actuellement entièrement moulé et bénéficie d'une protection totale contre les courts circuits (double isolation, classe de protection II, tension de contrôle 4000V, Classe d'isolation T40/E, Norme VDE 0551). Il est muni de connexions extérieures au pas de 5,08 mm (2/10 inch) à souder directement sur le circuit imprimé.

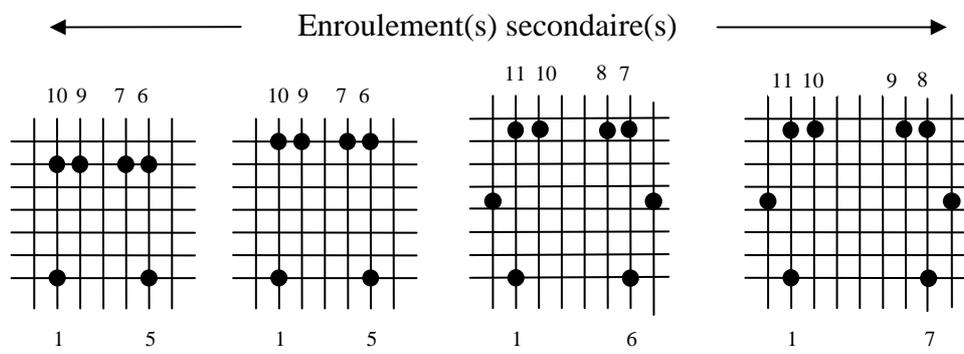
Fabricant : Myrra Série 44000, Crovisa, Orbitec,



Dimensions



Dim / P	1 VA	2 VA	3,2 VA	5 VA	10 VA	15 VA	30 VA
A (mm)	27,5	27,5	35	37	42,5	47	
B (mm)	32,5	32,5	41	45	50	56	
C (mm)	21,8	27,5	28	32,5	34,8	38,8	



Circuit imprimé au pas de 5,08 mm. Vue coté composants

Brochage des connexions des enroulements

	1 VA à 5 VA	10 VA	16 VA	30 VA
Primaire	1 - 5	1 - 6	1 - 7	1 - 8
1 Secondaire	7 - 9	8 - 11	9 - 13	
2 secondaires	6 - 7 / 9 - 10	7 - 8 / 11 - 12	8 - 9 / 13 - 14	9 - 10 / 15 - 16

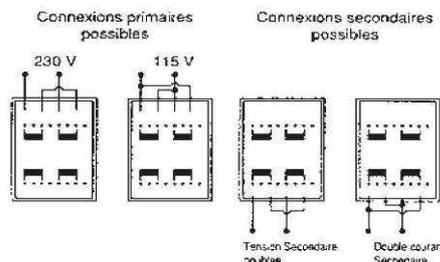
Le transformateur (sur)moulé (extra) plat Bas profil

Ce type de transformateur est utilisé lorsque la hauteur est un élément primordial. Il est fabriqué avec 2 enroulements primaires de 110 V chacun. Pour un raccordement sur le secteur (220 V) il faut combiner les 2 enroulements primaires en série.

Fabricant : Myrra Série 45000, Schaffner, Crovisa, ...)



Transformateur plat Myrra
Série 45000



Dimensions

06 VA = 44 x 53 x 22 mm
10 VA = 44 x 53 x 28 mm
14 VA = 57 x 68 x 24 mm
18 VA = 57 x 68 x 27 mm
24 VA = 57 x 68 x 31 mm
30 VA = 57 x 68 x 35 mm

Dimensions

3,5 VA = 54 x 42 x 20 mm
07 VA = 68 x 54 x 24 mm
20 VA = 72 x 55 x 35 mm



Transformateur extra plat pour montage à faible épaisseur

Puissance : 6 VA

2 enroulements primaires de 115 V

2 enroulements secondaires de 12 V

Remarque : le début des enroulements est noté 0.

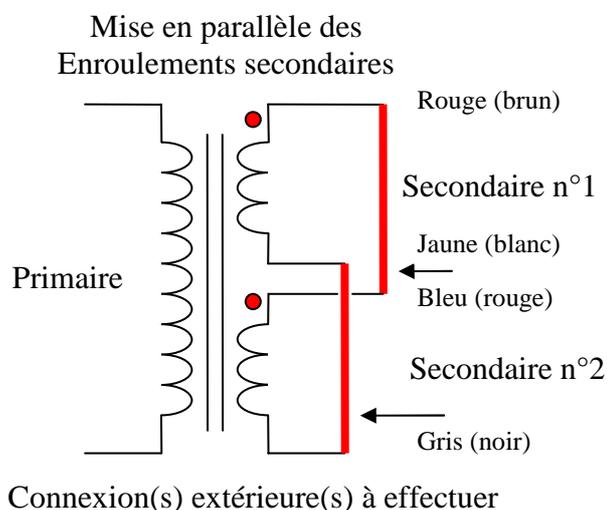
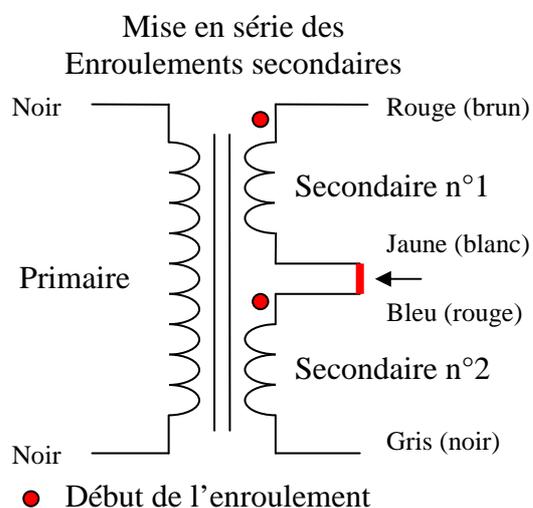
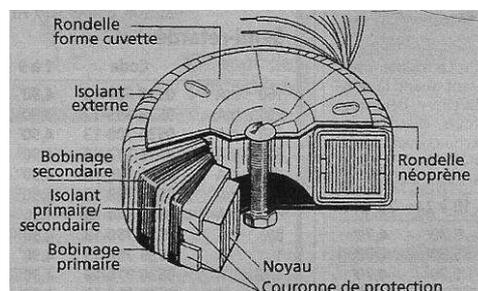
VII.5.4 Le transformateur torique

Le transformateur torique présente plusieurs avantages par rapport au transformateur classique à tôles magnétiques : plus petit et plus léger, fuites du champ magnétique plus faible, absence de vibration mécanique, rendement plus élevé, échauffement négligeable et fixation rapide par une vis et écrou sur une coupelle métallique espacée par une rondelle néoprène.

Fabricants : Arabel, Amveco, Crovisa, Ilp, Intelecса, Nordtek Danmark, etc..

Les transformateurs toroïdaux CROVISA sont homologués par VDE d'après la norme VDE 0570 / EN 61558. Ils sont composés d'un noyau en forme d'anneau à faible pertes d'entrefer sur lequel sont placés les enroulements de fil émaillé classe H (180° C) et des isolements appropriés.

Il existe aussi des transformateurs toriques extra plat lorsque l'épaisseur du transformateur est un élément primordial.



Caractéristiques d'un transformateur torique classique

Puissance En VA	Dimension En mm Ø * H (± 3)	Poids En Kg	Réglage Vide/charge
15	58 * 30	0,30	20%
30	70 * 35	0,50	15%
50	83 * 40	0,75	15%
80	92 * 37	0,95	15%
120	91 * 50	1,20	10%
160	110 * 44	1,90	10%
225	111 * 51	2,20	9%
300	121 * 55	2,20	7%
500	136 * 64	4,40	6%
625	136 * 74	5,20	5,5%
1000	160 * 75	6,90	5%

VII.6 Le transformateur R

Ces transformateurs offrent des performances intéressantes sous un volume réduit et remplacent avantageusement les transformateurs toriques (coût moindre, encombrement plus faible, excellent taux de régulation, pertes de flux très faibles, faible consommation à vide, échauffement faible et silencieux).



Dimensions

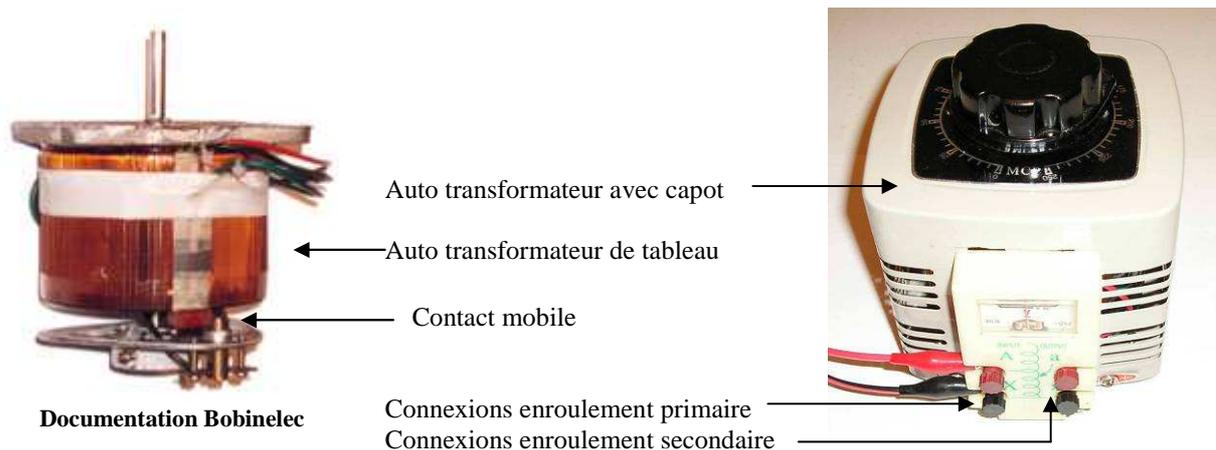
30 VA = 97 x 77 x 42 mm
50 VA = 102 x 90 x 48 mm
80 VA = 125 x 90 x 52 mm
120 VA = 126 x 103 x 55 mm
300 VA = 163 x 128 x 70 mm
500 VA = 190 x 145 x 85 mm

Extraits du catalogue Selectronic

VII.7 L'autotransformateur

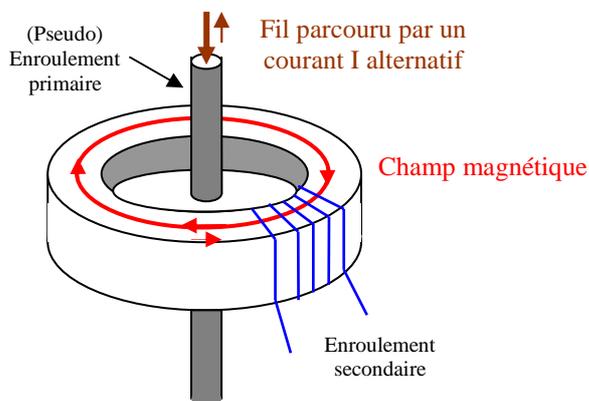
L'autotransformateur, aussi appelé Variac, est transformateur muni d'un contact supplémentaire mobile sur une partie du bobinage à spires espacées de l'enroulement primaire (220 V) dénudée pour faire contact. Ce contact mobile forme une des 2 connexions de l'enroulement secondaire et permet de faire varier la tension secondaire de 0 à 220 V ~.

L'autotransformateur est utilisé par les SAV pour dépanner les alimentations à découpage en injectant une faible tension d'entrée secteur ou pour tester la régulation d'une alimentation linéaire ou à découpage en fonction de la variation de la tension secteur.



VII.8 Le transformateur de mesure du courant

Principe de fonctionnement du transformateur de mesure du courant alternatif BF ou HF



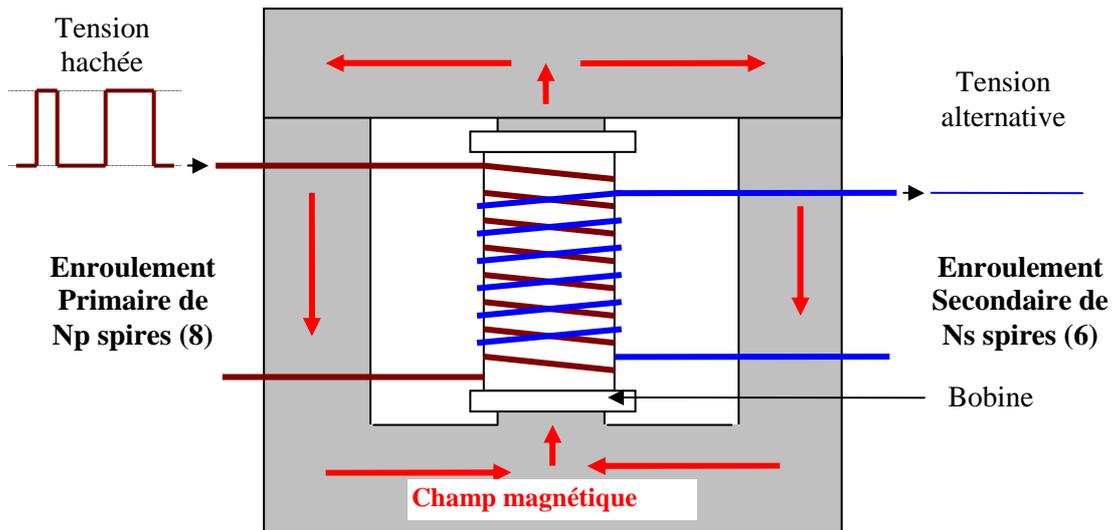
Documentation Chauvin Arnoux

Ce type de transformateur est utilisé pour mesurer le courant alternatif du secteur (220V 50Hz) ou de haute fréquence. Dans les Wattmètre / Tos mètre / Ros mètre radioamateur en ondes décimétriques, le fil (coaxial) reliant (dans l'appareil) l'entrée (sortie de l'émetteur) à la sortie (sortie vers l'antenne) traverse un tore de ferrite. La tension de l'enroulement secondaire est redressée d'un côté ou de l'autre pour fournir la tension directe ou réfléchie.

Remarque : l'enroulement secondaire est en général réparti sur tout le tore.

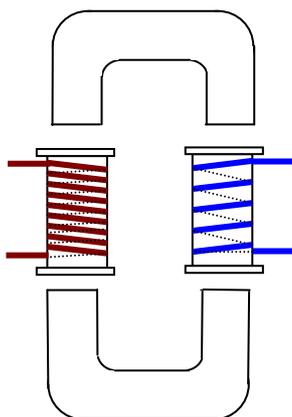
VII.9 Le transformateur pour alimentation à découpage

Le transformateur pour alimentation à découpage est utilisé pour transformer une tension continue en une ou plusieurs tensions(s) de sortie plus élevée(s) ou plus basse(s) par un système de hachage à haute fréquence (de 10 kHz à 1 Mhz) de la tension continue injectée dans l'enroulement primaire. La largeur des impulsions est variable en fonction de la variation de la tension d'entrée et de la charge raccordée à la sortie. Ce type d'alimentation est plus compact et légère qu'une alimentation classique dite linéaire. De plus, elle possède un meilleur rendement, par contre elle est en général plus bruyante.

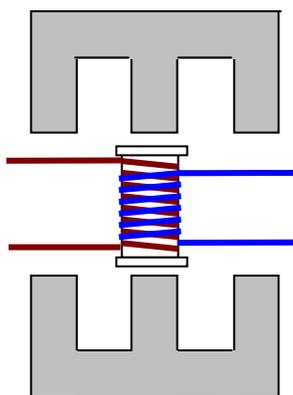


En général, le noyau est en ferrite (utilisée en haute fréquence) en forme de 2 C ou 2 E ou d'un tore.

En forme de 2 C



en forme de 2 E



différents types de noyau



Doc TSC Ferrite International

VII.9.1 Exemples de transformateurs d'alimentation à découpage

Exemple de transformateurs d'alimentation à découpage sur noyau de ferrite.



VII.9.2 Cas particulier : le transformateur de Très haute tension (THT)

Ce transformateur est utilisé pour produire une très haute tension en sortie (de 1 KV à 15 KV) nécessaires, entre autres, pour le tube cathodique d'une télévision ou d'un oscilloscope.



VII.1 Le transformateur basse fréquence

Ce type de transformateur est surtout utilisé dans les amplificateurs à tube en audio pour transmettre le son vers le(s) haut (s) parleur(s) et cela dans la gamme de fréquence audio la plus large possible sans distorsion (de 20 Hz à 20 kHz). Les premiers postes radio à transistors ont eux aussi utilisé des transformateurs basses fréquences pour transmettre le son de l'étage de l'amplificateur final au haut-parleur.

Il sert à adapter l'impédance de l'amplificateur de l'ordre du 1 K Ω (ou plus) à celui du haut-parleur de 4 Ω ou 8 Ω ou 16 Ω (Rappel : Z primaire = Z secondaire / N^2).

Ce type de transformateur est aussi utilisé pour raccorder certains appareils à une ligne téléphonique (rapport de transformation 1/1, impédance 600 Ω / 600 Ω , résistance en continu 60 Ω , bande passante 0.3kHz à 4 kHz).



Transformateur téléphonique

VII.2 Le transformateur Haute fréquence

VII.2.1 *Le transformateur de fréquence intermédiaire*

Le transformateur de fréquence Intermédiaire (FI) est utilisé dans la plupart des postes de radio de type superhétérodyne (rappel du principe (voir aussi le cours) : la fréquence reçue est mélangée avec la fréquence d'un oscillateur local variable dans un mélangeur qui produit en sortie une fréquence somme et une fréquence différence). Le transformateur FI permet de sélectionner une des deux fréquences grâce à une très bonne sélectivité.

Il comporte en général 4 ou 5 connexions externes (pattes). Les enroulements primaire et secondaire(s) sont constitués de fils isolés très fins (émaillés ou divisés sous protection en coton), car le courant qui les traverse est faible (quelques mA). Les enroulements sont protégés par un blindage métallique léger, qui est en général soudé à la masse du circuit imprimé sur lequel il est monté. Le réglage de la valeur de l'inductance des enroulements du transformateur FI (et donc de la fréquence de résonance) se fait par un noyau plongeur (vis en ferrite) qui peut être vissé ou dévissé avec un tournevis en plastique (pour éviter les effets parasites). Un condensateur de faible valeur (de 150 pF à 220 pF) est branché en général sur l'enroulement secondaire, afin de constituer un circuit résonnant sur la fréquence intermédiaire.

Les principales fréquences intermédiaires sont :

- 455 KHZ pour la réception en modulation d'amplitude des ondes radio PO, GO, OC,
- 5,5 MHz pour la réception en modulation d'amplitude du son de la télévision,
- FI 10,7 MHz pour la réception en modulation de fréquence de la radio en stéréo.

Remarque : il a existé et il existe d'autres fréquences intermédiaires et transformateurs adaptés. Les transformateurs de fréquence intermédiaire sont souvent remplacés par des filtres céramiques ou quartz (plus chers).

Fabricants : Neosid, TDK, Toko, etc...

Transformateurs de fréquence intermédiaire 455Khz de TOKO type 7E et 10EZ. Le point noir sur le brochage indique le départ du bobinage.



Nouvelles références:

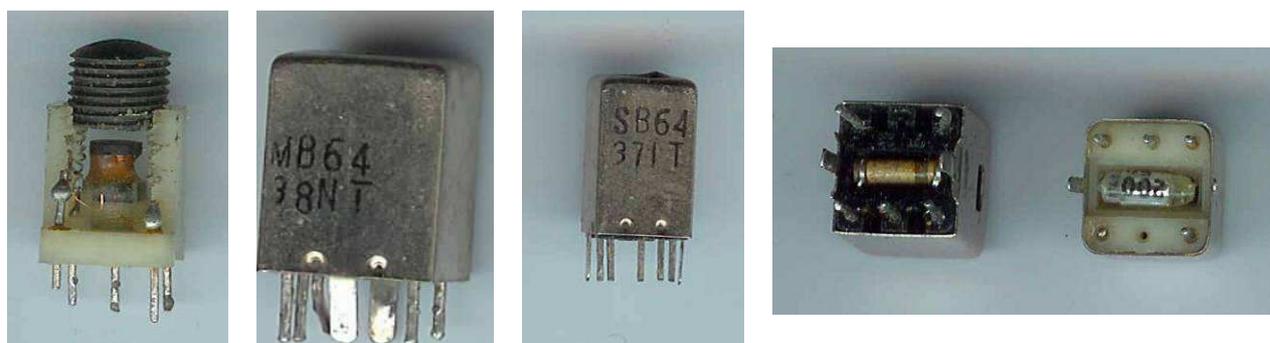
LMCS4100A --> A7MCS-10736A

LMCS4101A --> A7MCS-10737A

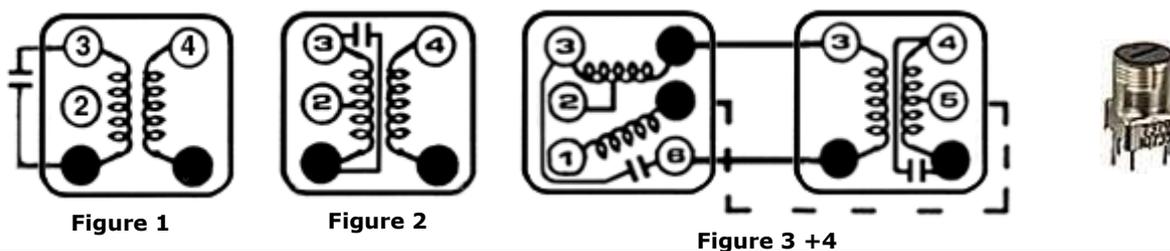
LMCS4102A --> A7MCS-10735A



TYPE	Dimensions	Couleur du noyau ou du marquage sur le transfo	Impédance	Etage
LMCS4100A	7x7	Jaune	50K:500	1
LMCS4101A	7x7	Blanc	30K:500	2
LMCS4102A	7x7	Noir	15k:5k	3
LMCS4200A	7x7	Jaune	15K:150	1
LMCS4201A	7x7	Blanc	35K:150	2
LMCS4202A	7x7	Noir	37k:12k	3



Transformateurs de fréquence intermédiaire 10,7M de TOKO type 7E et 10K. Le point noir sur le brochage indique le départ du bobinage.



TYPE	Dimensions	Couleur du noyau ou du marquage sur le transfo	Q min	Figure	Etage
85AC-3000A	7 x 7	Orange	105	1	3
85FC-3002SZ	7 x 7	Bleu	105	4	disc. S
85PC-3100PPF	7 x 7	Rose	60	3	disc. P
85FC-1517SZ	7 x 7	Bleu	105	4	disc. S
KACS-1506A	10 x 10	Noir	100	1	1
KACS-6184A	10 x 10	Noir	65	1	1+2+3
KACS-6400A	10 x 10	Orange	80	1	3
KACS-6666SZ	10 x 10	Bleu	90	4	disc. S
KACS-6185PPF	10 x 10	Rose	68	3	disc. P
KACS-6186SZ	10 x 10	Bleu	78	4	disc. S

Légende du tableau : Disc. P = discriminateur P. , Disc. S = discriminateur S. , Réglage: $\pm 20\%$.

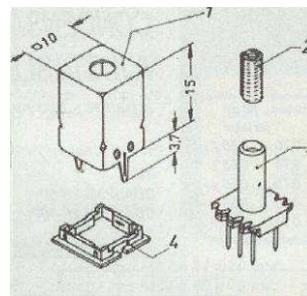
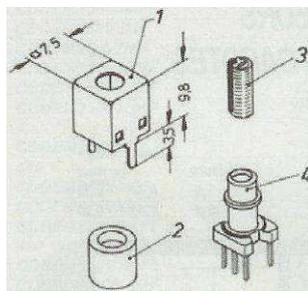
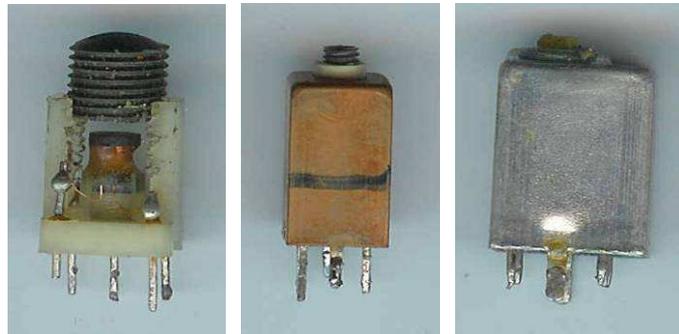
Transformateur FI 455kHz (en vue de côté et en vue de dessus). On remarquera le pas de vis jaune, qui permet l'ajustement du transformateur FI à l'aide d'un petit tournevis.

VII.2.2 Le transformateur haute fréquence :

Ce transformateur est utilisé en haute fréquence depuis quelques dizaines de Kilo Hertz à une centaine de Mhz. Il peut être constitué de plusieurs enroulements séparés électriquement ou

non dans le cas de l'autotransformateur, disposé ou non d'une capacité d'accord, d'un blindage.

Exemples de transformateurs HF

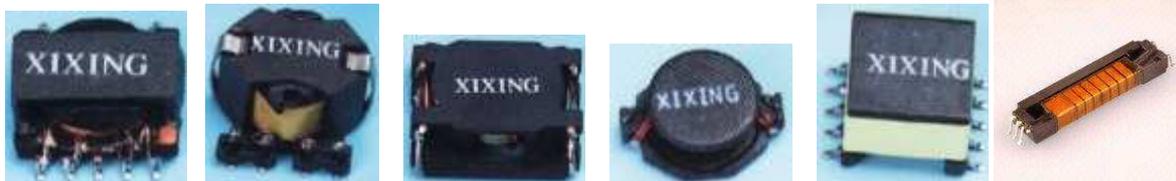


Référence Transformateur HF de Toko	Dimensions en mm	Tableau des caractéristiques			
<p>Toko 5mm TYPE 5KM Gamme de Fréquence : 1~120MHz Gamme d'Inductance: 0.05~10μH Coefficient de Température: TC (L) 80 ± 120ppm/°C TC (F) 0 ± 120ppm/°C Valeurs Capacité Interne: 5~56pF</p>		Toko n° Pièce	Inductance en μH	Q mini	Fréquence de test en Mhz
		369SNS-1646Z	0.10±5%	35	50
		369SNS-1647Z	0.12±5%	35	50
		369SNS-1648Z	0.15±5%	35	50
		369SNS-1649Z	0.18±6%	35	50
		369SNS-1650Z	0.22±6%	35	50
		369SNS-1651Z	0.27±6%	35	50
		369SNS-1652Z	0.33±6%	35	50
		369SNS-1653Z	0.39±6%	35	50
		369SNS-1654Z	0.47±6%	35	50
		369SNS-1655Z	0.56±6%	35	50
		369SNS-1656Z	0.68±6%	35	50
		369SNS-1657Z	0.82±6%	35	50
		369SNS-1658Z	1.00±6%	25	7.96
		369SNS-1659Z	1.20±6%	25	7.96
		369SNS-1660Z	1.50±6%	25	7.96

<p>Toko 10mm TYPE 10K Gamme de Fréquences: 2~120MHz Gamme d'Inductance: 0.08~82μH Coefficient de Température: Inductor TC (L) 220 ± 150ppm/°C avec Capacité Interne TC (F) 0 ± 150ppm/°C Valeurs Capacité Interne: 5~100pF</p>	<p>(Unit: mm)</p>	Toko n° pièce	Inductance en μH	Q mini	Fréquence de test en Mhz	Blindé
		BTKENS-T1043Z	0.08±2%	50	75.0	oui
		BTKENS-T1044Z	0.10±6%	60	75.0	oui
		BTKENS-T1045Z	0.15±6%	60	75.0	oui
		BTKENS-T1046Z	0.22±6%	60	75.0	oui
		BTKXNS-T1047Z	0.33±6%	60	45.0	oui
		BTKXNS-T1048Z	0.47± 6%	70	45.0	oui
		BTKXNS-9455HM	0.47± 6%	80	25.2	oui
		TKXNF-9427HM	0.47± 6%	80	25.2	non
		BTKXNS-9454HM	0.56± 6%	80	25.2	oui
		TKXNF-9426HM	0.56± 6%	80	25.2	non
		BTKXNS-T1049Z	0.68± 6%	70	45.0	oui
		BTKXNS-9453HM	0.68± 6%	100	25.2	oui
		TKXNF-9425HM	0.68± 6%	80	25.2	non
		BTKXNS-9452HM	0.82± 6%	100	25.2	oui
		TKXNF-9424HM	0.82± 6%	80	25.2	non
		BTKXNS-T1050Z	1.00± 6%	80	25.2	oui
		TKXN-9451HM	1.0±6%	100	25.2	oui
		TKXNF-9423HM	1.0±6%	80	25.2	non
		BTKANS-9450HM	1.2±6%	60	7.96	oui
		TKANF-9422HM	1.2±6%	50	7.96	non
		BTKANS-9449HM	1.5±6%	60	7.96	oui
		TKANF-9421HM	1.5±6%	55	7.96	non
		TKAN-9448HM	1.8±6%	60	7.96	oui
		TKANF-9420HM	1.8±6%	60	7.96	non
BKTANS-9447HM	2.2±6%	60	7.96	oui		
TKANF-9419HM	2.2±6%	65	7.96	non		
BTKANS-9446HM	2.7±6%	70	7.96	oui		
TKANF-9418HM	2.7±6%	65	7.96	non		
BTKANS-9445HM	3.3±6%	70	7.96	oui		

VII.2.3 Le transformateur monté en surface

Ce type de transformateur fait partie des composants montés en surface.
Fabricants : IVT Technology limited, Microspire, Xixing



VIII Le transistor

IX Glossaire

Ω : Ohm, Symbole de l'unité de la valeur de la résistance,

AC : (Anglais : Alternative Current) courant alternatif,

Aging : (Anglais) vieillissement, dérive dans le temps des caractéristiques d'un composant ou d'un appareil,

Capacimètre : appareil de mesure de la capacité d'un condensateur,

CMS : Composant Monté en Surface,

Coil : (Anglais) bobine,

CTN : Coefficient de Température Négatif, résistance à coefficient de température négatif ou aussi thermistance

CTP : Coefficient de Température Positif, résistance à coefficient de température positif ou aussi Thermistance et en Anglais PTC Postive Temperature Coefficient

DC : (Anglais) : Direct Current, courant continu,

DEL : Diode Electro Luminescente et en Anglais LED Light Emitting Diode,

DIL : (Anglais) Dual In Line, deux rangées en ligne, par exemple le boîtier des circuits intégrés classiques,

DTCXO : (Anglais) Digital Temperature Compensated X-tal (Crystal) Oscillator, en Français, oscillateur à quartz compensé numériquement en température,

Effet de peau : lorsque la fréquence augmente, l'intensité du courant ne passe plus par la totalité de la section d'un fil mais seulement à sa périphérie (= peau du fil),

INCH : pouce (noté aussi '), valeur de 2,54 cm soit 25,4mm, le 1/10 de pouce est une valeur d'écartement très utilisée en électronique (espacement des pattes d'un circuit intégré classique),

Inductance mètre : appareil de mesure de l'inductance d'une bobine,

Layer : (Anglais) couche,

LCD : (Anglais) Liquid Cristal Display, en Français Afficheur à cristaux liquides,

LDR : (Anglais) Light Dependent Resistor, en Français Photo résistance, la valeur de la résistance dépend de l'éclairement du composant,

LED : (Anglais) Light Emitting Diode, en Français DEL Diode Electro Luminescente,

MOV : (Anglais) Metal Oxide Varistor, voir Varistance,

NTC : (Anglais) Negative Temperature Coefficient , CTN en Français, résistance à coefficient de température négatif ou aussi Thermistance

OCXO : (Anglais) Oven Controlled X-tal(Crystal) Oscillator, en Français, oscillateur à quartz thermostaté. La lame de quartz est enfermée dans une enceinte isolée dont la température de (70° à 90°) est maintenue par un élément de chauffe et une sonde de température,

OHM : unité de la résistance,

Ohmmètre : appareil de mesure de la valeur de la résistance du composant du même nom,

Photo résistance : la valeur de la résistance dépend de l'éclairement du composant,

PPM : Partie Par Million et en Anglais Part Per Million (soit 1 millionième = 1×10^{-6}),

PTC : (Anglais) Postive Temperature Coefficient , CTP en Français, résistance à coefficient de température positif ou aussi Thermistance

Ripple : (Anglais) ondulation, par exemple la variation de la tension secteur redressée puis filtrée par un condensateur,

Shunt : résistance de faible valeur placée en dérivation sur un galvanomètre (ou autre) pour drainer un courant important,

SIL : (Anglais) Single In Line, une rangée en ligne,

Strap : composant (ou morceau de fil conducteur) ayant une valeur de résistance de 0Ω

TCXO : (Anglais) Temperature Compensated X-tal (Crystal) Oscillator), en Français, oscillateur à quartz compensé en température,

Transistor : **Transfert Resistor**, composant actif dont le rôle est d'amplifier le courant ou la tension,

Trimmer : (Anglais) potentiomètre ajustable,

Varistance : résistance dont la résistance dépend de la tension appliquée à ses bornes, en général la valeur diminue lorsque la tension augmente, peut absorber un courant très important pendant un temps assez court

Variac : (Anglais) : (Variable AC) autotransformateur courant alternatif,

Varicap : (Anglais) : (**V**ariable **C**apacity) en général une diode, polarisée dans le sens inverse, dont la capacité varie en fonction de la tension inverse,

Varistor : (Anglais) voir Varistance,

VCO : (Anglais)Voltage Controlled Oscillator : oscillateur dont la fréquence est commandée par une tension

VDR : (Anglais) Voltage Dependant Resistor, (Français) Varistance, résistance dont la valeur de la résistance dépend de la tension appliquée à ses bornes, en général la valeur diminue lorsque la tension augmente.

Wiper : (**Anglais**) balai, contact mobile sur la piste d'un potentiomètre,